

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.10.022

基于景观格局与空间自相关的永久基本农田划定研究

罗志军^{1,2} 赵越^{1,2} 赵杰^{1,2} 李远维^{1,2} 宋聚^{1,2} 冉凤维^{1,2}

(1. 江西农业大学国土资源与环境学院, 南昌 330045; 2. 江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室, 南昌 330045)

摘要: 在综合考虑耕地综合质量、空间自相关性和景观格局的基础上,进行永久基本农田的划定,对区域粮食安全和生态安全具有重要的意义。以崇仁县为例,借助 GIS 平台与 GeoDa 软件,通过耕地综合质量评价体系的构建进行耕地综合质量评价,根据综合质量评价结果进行空间自相关分析,再根据自相关分析结果与耕地景观生态安全格局对应关系,进行永久基本农田的划定。根据研究区土壤理化性质、耕作利用条件和耕作区位条件,提出了一种基于耕地综合质量、综合质量聚类关系和耕地景观结构的永久基本农田划定方法,划定崇仁县永久基本农田 305.94 km²,划入的耕地更符合永久基本农田的要求,有助于基本农田长期的管理和保护,也可为丰富耕地综合质量评价与基本农田划定研究提供参考。

关键词: 耕地; 永久基本农田; 自相关; 景观格局; 崇仁县

中图分类号: F301.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)10-0195-10

Defining of Permanent Basic Farmland Based on Landscape Pattern and Spatial Autocorrelation

LUO Zhijun^{1,2} ZHAO Yue^{1,2} ZHAO Jie^{1,2} LI Yuanwei^{1,2} SONG Ju^{1,2} RAN Fengwei^{1,2}

(1. College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

2. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Poyang Lake Basin Agricultural Resources and Ecology, Nanchang 330045, China)

Abstract: Based on comprehensive consideration of the comprehensive quality of cultivated land, autocorrelation and landscape patterns, the demarcation of permanent basic farmland is of great significance to regional food security and ecological security. Taking Chongren County as an example, GIS platform and GeoDa software were used to evaluate the comprehensive quality of cultivated land through the construction of comprehensive quality evaluation system of cultivated land, and spatial autocorrelation analysis was carried out according to the results of comprehensive quality assessment, and then according to the results of autocorrelation analysis and the ecological security of cultivated land landscape and correspondence between patterns to describe permanent basic farmland. The soil physical and chemical properties, farming conditions were comprehensively considered into the research, and arable land conditions in the study area, and a permanent basic farmland delineation method was proposed based on the comprehensive quality of farmland, comprehensive quality cluster relationship and cultivated land landscape structure, and delineated permanent basic farmland in Chongren County as 305.94 km², the ploughed land was more in line with the requirements of the permanent basic farmland, which would contribute to the long-term management and protection of basic farmland, and also provide a reference for the comprehensive quality evaluation of farmland and the demarcation of basic farmland.

Key words: farmland; permanent basic farmland; autocorrelation; landscape pattern; Chongren County

0 引言

耕地是人类赖以生存和发展的物质基础,也是保障国家粮食安全、生态安全和社会可持续发展的

重要保障^[1]。近年来,我国的耕地面积逐渐下降,现存耕地中仍存在着质量等级不高,分布细碎,耕地保护不到位,后备耕地资源不足等问题,耕地数量与质量的保护工作势在必行^[2]。永久基本农田是耕

收稿日期: 2018-04-09 修回日期: 2018-05-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41561107)

作者简介: 罗志军(1976—),男,副教授,博士,主要从事土地管理和3S应用研究,E-mail: luozy10@163.com

地资源中最为精华的部分,是保护耕地资源,保证国家粮食安全、稳定种植业发展的重要途径。永久基本农田的划定工作始终受到政府和社会高度重视,但我国永久基本农田的划定工作起步较晚,未形成统一的划定方法,划定工作中难以避免受到主观因素影响,划定缺乏科学规范的理论与方法指导,存在将一些质量较差、分布细碎的耕地划为永久基本农田等问题。一些学者围绕着永久基本农田的划定进行了探讨,王新盼等^[3]通过采用多因素综合评价和逐级修正相结合的方法,对基本农田自然质量进行修正得到永久基本农田综合质量,选取高综合质量耕地进行永久基本农田的划定;鲁学军等^[4]采用二值形态闭运算法进行永久基本农田划定,将耕地的连片程度作为划定永久基本农田的标准之一。聂艳等^[5]以土地评价为理论指导,运用 K 均值聚类等方法来划定永久基本农田,但更多的学者^[6-8]仅关注到了耕地的自然质量,而忽略了耕地的空间聚类关系,也未能从景观生态结构的角度对划定方法进行优化,划定过程的前瞻性不足。本研究借助 GIS 平台进行耕地综合质量评价和自相关关系分析,同时结合耕地的景观格局,在进行永久基本农田划定的同时注重对生态环境的保护,以期对耕地入选永久基本农田提供更为可靠和科学的依据,为编制耕地与基本农田保护专项规划提供参考和借鉴。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

崇仁县位于江西省中部偏东、抚州市西部,地处 115°49′16″~116°16′55″E、27°24′29″~27°57′29″N 之间,土地总面积约为 1 520 km²。全县地势南高北低,由西南向东北方向逐渐倾斜下降,三面环山,海拔多处于 40~1 200 m 之间,多年平均气温为 17.5℃,年平均无霜期约为 266 d,年均降水量约为 1 773 mm,年平均日照约为 1 743 h,属中亚热带潮湿性气候区,森林覆盖率 63.1%,水热条件丰富,有着良好的作物生长条件。崇仁县耕地面积约为 386.34 km²,其中水田面积 331.30 km²,旱地面积 55.04 km²,主要种植水稻、大豆等作物,农特产品有麻鸡、烟叶、蔬菜等。

1.2 数据来源

本研究所需数据主要包括:①数据库成果资料:崇仁县 2014 年 1:10 000 土地利用变更调查数据库、崇仁县耕地质量等别更新成果(2014 年)、崇仁县土地利用总体规划(2006—2020 年)数据库、崇仁县永久基本农田划定成果(2017 年)等。②相关图件资料:崇仁县土壤图、排灌图、水土流失图等相关图件

资料。③数字高程模型(DEM)数据通过地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)获取,空间分辨率为 30 m,借助 ArcGIS 10.2 软件栅格表面工具提取研究区坡度等地形要素信息。④其他成果资料:崇仁县耕地地力评价、统计年鉴、交通规划、村镇规划等成果和资料。

1.3 研究方法

1.3.1 耕地综合质量评价指标体系构建

为了客观科学地反映耕地质量,选取评价指标时,遵循综合性、便捷性、可操作性、因地制宜性等原则,根据崇仁县自然、社会、经济条件,在结合前人研究和专家意见的基础上^[9],通过参考《江西省耕地质量监测成果技术报告》、《江西省崇仁县耕地地力评价技术报告》选取土壤理化性质、耕作利用条件和耕作区位条件 3 个准则层建立耕地质量评价量化标准。在土壤理化性质方面更为注重土壤的自然属性,包括土壤的耕层厚度、pH 值、质地、剖面构型、有机质质量分数等;在耕作利用条件方面选取基础配套设施、耕地的利用方式、侵蚀程度、坡度等因素;区位条件方面选取耕作距离、耕作便捷度、交通通达度、中心城镇影响度等因素(表 1)。本研究采用德尔菲(Delphi)法和层次分析法相结合的方法来确定指标因子权重,通过参照文献[10]进行指标量化,根据指标情况分为 I、II、III、IV、V 5 级,按照 0~100 的分级标准分别赋值 100、80、60、40、20,实现耕地属性分值到耕地质量分值之间的转换。采用加权求和法对各耕地地块进行更低综合质量计算,计算公式为

$$F_o = \sum V_{ro} W_n \tag{1}$$

式中 F_o ——评价单元的综合质量
 V_{ro} ——评价单元 o 第 n 个指标的标准化值
 W_n ——第 n 个评价指标权重
田块规整度为

$$FRAC = 2\ln(P/4)/\ln S$$

式中 S ——耕地地块周长,m
 P ——耕地地块面积,m²

耕作距离表示耕地地块与农村居民点的距离(km);耕地便捷度指耕地地块与农村道路的距离(km);交通通达度是将提取的道路进行动态缓冲区分析,在参照《农用地质量分等规程》的基础上,根据不同道路级别设定不同的缓冲区半径,按照衰减模型方法计算各耕地分值;中心城镇影响度是指耕地地块与中心城镇的距离(km)。耕地连片度则是通过 ArcGIS 10.2 中的空间分析功能,定量地对耕地集中连片程度进行计算^[11],计算公式为

表 1 耕地综合质量评价量化标准

Tab.1 Quantitative standard for comprehensive quality evaluation of cultivated land

准则层	指标层	级别					权重
		I	II	III	IV	V	
土壤理化性质	有机质质量分数/%	[4 , + ∞)	[3 , 4)	[2 , 3)	[1 , 2)	(0 , 1)	0.075 4
	耕层厚度/cm	[32 , 40]	[24 , 32)	[16 , 24)	[8 , 16)	[0 , 8)	0.064 2
	土壤 pH 值	[6.0 , 7.9)	[5.5 , 6.0) , [7.9 , 8.5)	[5.0 , 5.5) , [8.5 , 9.0)	[4.5 , 5.0)	(0 , 4.5) , [9.0 , + ∞)	0.081 2
	土壤质地	重壤土	中壤土	轻壤土	沙壤土	粘土	0.054 1
	剖面构型	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	0.069 2
	土壤侵蚀程度	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	0.063 2
耕作利用条件	排水条件	排水系统健全	基本健全	排水一般		无排水系统	0.068 3
	灌溉条件	充分具备	基本具备	具备		不具备	0.098 5
	地貌类型	平原	低山	丘陵	中山		0.086 1
	耕地连片度/km ²	[60 , + ∞)	[20 , 60)	[10 , 20)	[5 , 10)	(0 , 5)	0.074 5
	耕地利用方式	水田	水浇地	旱地			0.059 8
	田块规整度	(0 , 2.02]	(2.02 , 2.06)	[2.06 , 2.11)	[2.10 , 2.50)	[2.50 , + ∞)	0.044 2
耕地区位条件	耕作距离/km	[0 , 0.4)	[0.4 , 1.0)	[1.0 , 1.8)	[1.8 , 2.8)	[2.8 , + ∞)	0.041 2
	耕作便捷度/km	[0 , 0.1)	[0.1 , 0.3)	[0.3 , 0.5)	[0.5 , 0.7)	[0.7 , + ∞)	0.043 6
	交通通达度/km	[0 , 0.1)	[0.1 , 0.3)	[0.3 , 0.6)	[0.6 , 1.0)	[1.0 , + ∞)	0.044 2
	中心城镇影响度/km	[0 , 0.1)	[0.1 , 0.3)	[0.3 , 0.5)	[0.5 , 0.7)	[0.7 , + ∞)	0.032 3

$$P = \frac{\ln S_i - \ln S_{\min}}{\ln S_{\max} - \ln S_{\min}}$$

式中 S_i ——连片面积现状值,km²
 $S_{\min}$ 、 $S_{\max}$ ——连片面积最小值与最大值,取值
为 0 ~ 1 km²

1.3.2 耕地综合质量空间自相关分析

本文采用 GeoDa 软件对耕地综合质量进行空间自相关分析,通过空间权重的构建进行 Moran’s I 指数计算。空间自相关分析是用来检验某些空间变量在特定位置的属性值是否与邻近位置的属性值显著相关的算法,可以分为全局空间自相关(Global spatial autocorrelation)与局部空间自相关(Local spatial autocorrelation)^[12],局部空间自相关分析可测度耕地地块质量与其邻近地块质量指数的空间异质性,识别耕地综合质量空间集聚和离散特征,其局域空间关联度指标(LISA)计算公式为

$$LISA_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (i \neq j) \quad (2)$$

其中 $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

式中 w_{ij} ——空间权重矩阵的元素
 x_i 、 x_j ——经过标准化后的耕地地块质量分值
 $\bar{x}$ ——均值 S^2 ——方差

局部 Moran’s I 指数(I_i)在 [-1 , 1] 之间, I_i 可正可负,得到的 4 种空间属性分别为 H - H (高-高)、H - L (高-低)、L - L (低-低)、L - H (低-高)。采用 Z_i 检验^[13]对区域的局部空间自相关关系进行显著

性检验。在 95% 置信区间水平下,当 $Z_i > 1.96$ 时,表示高属性与高属性(H - H)或低属性与低属性(L - L)发生了空间集聚;当 $Z_i < -1.96$ 时,表示观测值之间存在显著负相关,则发生空间单元为高属性的被低属性值所包围(H - L)或者空间单元为低属性的被高属性值所包围(L - H);当 $|Z_i| < 1.96$ 时,表示要素在区域内集聚不明显,呈现随机分布状态。

1.3.3 耕地景观生态安全评价模型构建

景观格局指数是指高度浓缩景观格局的信息,反映结构组成和空间支配某方面的特征的定量指标^[14]。针对不同的空间特征可以设计不同的量度指标,针对同一指标常常计算方法各异,本研究根据研究区耕地特点,选择计算一系列景观格局指标对崇仁县景观生态安全进行评价。耕地景观生态安全是指在长期自然或者人为干扰下,耕地景观由均质向异质,单一向复杂,连续向不连续的方向变化,受到外在因素的干扰越大,生态环境安全程度越低,耕地越容易遭到破坏。本研究在结合前人研究的基础上^[15],从斑块类型水平(边界破碎度、破碎度、面积加权平均形状因子等)和景观水平(分离度、分维数等)两方面进行景观生态安全模型的构建,景观格局指数指标主要涉及耕地的结构和形状,其生态学意义如下:

(1) 边界破碎度表示景观类型边界的破碎程度,用于揭示景观或类型被边界分割的程度,是景观破碎化程度的直接反映。计算公式为

$$E_D = C/A \quad (3)$$

式中 C ——类型周长 A ——类型面积

(2)破碎度表示景观被分割的破碎程度,在一定程度上反映人为对景观的干扰强度。破碎度越大,景观安全性越小。计算公式为

$$P_d = N/A \tag{4}$$

式中 N ——类型斑块数

(3)面积加权平均形状因子($AWMSI$)表示度量景观空间格局复杂性的重要指标之一,直接影响耕地利用和管理的方便程度及利用效率。其值越大,耕地利用效率越低。 $AWMSI$ 表示某斑块类型中各个斑块的周长与面积之比乘以各自面积权重的和。当 $AWMSI$ 为1时说明所有斑块形状为最简单的方形, $AWMSI$ 增大表示斑块形状越复杂。

(4)分离度(D)用于揭示景观类型中斑块个体的分离程度。 D 值越大,斑块分离性越高,抵御风险的能力越小,景观安全性越低。常用来指代某一景观类型中不同斑块数个体分布的分离度。计算公式为

$$D = B/A \tag{5}$$

式中 B ——景观类型的距离

(5)分维数(F)反映了在一定的观测尺度上,斑块和景观格局的复杂程度,也反映了人类活动对景观格局的影响。计算公式为

$$F = 2\ln(L/4)/\ln K \tag{6}$$

式中 L ——斑块周长 K ——斑块面积

F 越大,表明斑块形状越复杂, F 的理论范围为1~2,1代表形状最简单的正方形斑块,2表示等面积下周边最复杂的斑块。

(6)景观脆弱度(V)表示某种景观类型受到外界干扰超出自身的调节能力而表现出对干扰的敏感程度。景观脆弱度越大,表明景观受外界的干扰程度越大,敏感性越高,抵御风险的能力越小,景观安全性越小。综合上述各个景观指数的生态学意义,选择反映耕地生产效率、稳定度及恢复力的景观格局指数建立脆弱度模型,公式为

$$V = \alpha AWMSI + \beta F + \gamma D \tag{7}$$

式中 α, β, γ ——因子权重

对耕地景观脆弱度因子权重的取值采用层次分析法,确定 α, β, γ 分别为0.59、0.28、0.13。

以国内外研究成果为基础^[16],充分考虑耕地景观特点,结合研究区域特征,构建耕地景观生态安全评价模型。该模型以景观脆弱度、边界破碎度和景观类型破碎度为变量,同时为了使得评价结果具有可比性,模型所得结果位于0~1之间。公式为

$$E_s = 1 - 2.5(P_d + E_d)V \tag{8}$$

式中 E_s ——景观生态安全指数

2 结果与分析

2.1 耕地综合质量评价及综合质量自相关分析

耕地综合质量评价结果显示,耕地综合质量综合得分处于48~86之间,根据得分结果进行耕地综合质量等级划分,可分为Ⅰ级分值区间(70.00, 100]、Ⅱ级分值区间(65.00, 70.00]、Ⅲ级分值区间(60.00, 65.00]、Ⅳ级分值区间[60.00, 45.00]。其中Ⅰ级区图斑面积为72.79 km²,占耕地面积的18.84%;Ⅱ级区图斑面积为96.80 km²,占耕地面积的25.06%;Ⅲ级区图斑面积为125.35 km²,占耕地面积的32.45%;Ⅳ级区图斑面积为91.41 km²,占耕地面积的23.66%。从空间分布上看,全县于东北部、中部较为集中,南部分散,与崇仁县南高北低的地形特征相符合,综合质量评价高分值区(Ⅰ级)在东北方向的孙坊镇、航埠镇、白鹭乡等乡镇分布较为集中,在石庄乡有较为零散的分布,郭圩乡、礼陂镇等乡镇有小面积分布;较高值区(Ⅱ级)分布在北部的河上镇,中部郭圩乡、石庄乡等,与高分值区相比,较高值区分布更为零散,在各乡镇均有分布;较低值区(Ⅲ级)在郭圩乡、许坊乡、河上镇等乡镇有较大面积分布,其他乡镇中该类别图斑分布较为分散;低分值区(Ⅳ级)在马鞍镇有大面积分布,在白陂乡、相山镇、三山乡等乡镇也有集中分布。综合以上评价结果可知,崇仁县东北部、中部具有较优越的农业生产条件,其所在区域地势低平,耕地集中连片,尤其在东北部的孙坊镇、航埠镇有着较大面积的连片耕地,其具备良好的排水灌溉条件、较高的连片度与规整度,土地利用类型以水田为主;而中部的石庄乡具有较高的土壤有机质含量,距离中心城区较近,其耕作便捷度、交通通达度均较高,马鞍镇、相山镇等乡镇地形起伏较大,耕地距离交通干线、中心城区的距离较远,其土壤质地和剖面构型较差,其社会经济条件与自然条件均不适宜进行永久基本农田划定。将本研究的耕地综合质量等级与耕地质量等别年度更新成果中的国家利用等别进行对比分析可知(表2):耕地综合质量为Ⅰ级、Ⅱ级的耕地占国家利用等别为10~12等的耕地的半数以上;耕地综合质量为Ⅲ级、Ⅳ级耕地中多半位于国家利用等别5~7等范围内,表明耕地综合质量评价结果与国家利用等别成果保持较高的一致性,耕地综合质量所选指标具有较好的代表性。

通过空间自相关分析可知崇仁县耕地综合质量Moran's I 指数为0.753, $P < 0.05$, $Z_i > 1.96$,表明其空间分布具有显著的空间自相关性,借助ArcGIS 10.2将耕地综合质量空间聚集情况进行分析(图1、

表 2 耕地综合质量等级与国家利用等别对比

Tab.2 Comparison of comprehensive quality grade of cultivated land and farmland natural utility grade									
国家利用 等别	Ⅰ 级		Ⅱ 级		Ⅲ 级		Ⅳ 级		合计/km ²
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	
12	0	0	0.03	0.01	0.01	0.00	0.08	0.02	0.12
11	5.66	1.47	6.39	1.65	3.53	0.91	2.13	0.55	17.72
10	0.57	0.15	2.21	0.57	4.76	1.23	2.98	0.77	10.51
9	1.03	0.27	2.02	0.52	6.06	1.57	5.12	1.33	14.23
8	0.72	0.19	1.95	0.51	5.09	1.32	4.60	1.19	12.36
7	10.02	2.59	8.37	2.17	7.69	1.99	3.89	1.01	29.97
6	38.44	9.95	32.81	8.49	48.86	12.65	37.03	9.58	157.13
5	16.35	4.23	43.02	11.13	49.36	12.78	35.58	9.21	144.30
合计	72.79	18.84	96.80	25.06	125.35	32.45	91.41	23.66	386.35

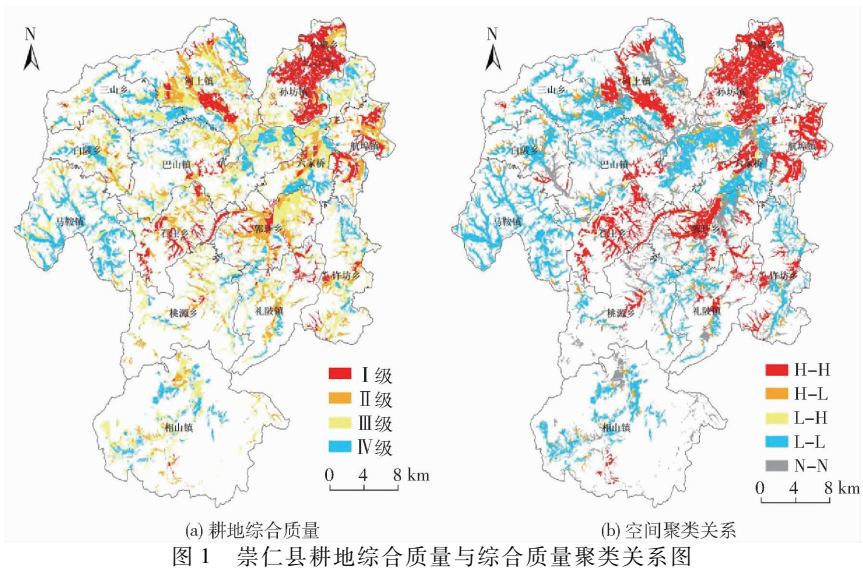


图 1 崇仁县耕地综合质量与综合质量聚类关系图

Fig. 1 Cluster diagrams of comprehensive quality and comprehensive quality of cultivated land in Chongren County

表 3), 经过对聚类分析结果与耕地综合质量评价分级结果进行叠加分析可知:崇仁县耕地综合质量聚类关系中高-高聚集(H-H)、高-低聚集(H-L)、低-高聚集(L-H)、低-低聚集(L-L)与无显著聚集(N-N)面积分别为 125.39、22.43、9.14、158.58、70.80 km², 分别占耕地总面积的 32.46%、5.81%、2.36%、41.05% 和 18.33%。在其空间分布方面, H-H 聚集主要集中于崇仁县东北部、中部、北部, 与高分值分布具有一定的一致性, 但其分布面积扩大 52.60 km², 其扩大范围主要位于河上镇、石庄乡、郭圩乡等乡镇, H-H 聚集代表某块耕地与其在空间

位置上相邻的耕地均具有较高的耕地综合质量, 具有较好的聚集效应; H-L 聚集与 L-H 聚集分布范围均较小且分散, 多分布于 H-H 聚集与 L-L 聚集的交界地带; L-L 聚集为各聚集类别中分布面积最广的类别, 其连片程度高, 马鞍镇、相山镇、白陂乡、巴山镇等乡镇均有较大面积的分布; N-N 聚集中主要由Ⅱ级、Ⅲ级耕地构成, 耕地综合质量较为适中, 其分布并无明显聚类效果。

2.2 景观生态安全评价

根据耕地综合质量与其自相关关系分析获知了崇仁县耕地的综合质量与空间聚集关系, 但并未反

表 3 耕地综合质量级别 4 种空间集聚类型统计

Tab.3 Statistics of four types of spatial agglomeration in comprehensive quality level of cultivated land											
级别	高-高型		高-低型		低-高型		低-低型		不显著型		合计/km ²
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	
Ⅰ 级	70.12	18.15	0.37	0.10	0	0	0	0	2.30	0.60	72.79
Ⅱ 级	49.79	12.89	14.40	3.73	0	0	0	0	32.61	8.44	96.80
Ⅲ 级	5.48	1.42	7.66	1.98	7.60	1.97	71.79	18.58	32.82	8.50	125.35
Ⅳ 级	0	0	0	0	1.54	0.39	86.80	22.47	3.07	0.79	91.41
合计	125.39	32.46	22.43	5.81	9.14	2.36	158.59	41.05	70.80	18.33	386.35

映其结构组成和空间支配关系,未能从结构上为永久基本农田划定后的保护工作提供便利,而从生态的角度对耕地生态安全指数进行计算,可根据各个乡镇斑块类型水平和景观水平,生态环境安全程度高低,研究各乡镇受外在因素干扰的影响程度,为永久基本农田的长期保护、各乡镇永久基本农田的指标分配提供有效依据(表4)。本研究以2014年耕地地图斑为基础数据,在对崇仁县各乡镇耕地景观安

全指数的计算的基础上,根据 Natural Break 对各乡镇耕地景观安全进行分级,可分为4个级别:I级区($E_s \leq 1$)、II级区($E_s \leq 0.86$)、III级区($E_s \leq 0.80$)、IV级区($E_s \leq 0.47$),分级结果如图2所示,I级区主要位于孙坊镇、白鹭乡、白陂乡,II级区主要分布于刘家桥乡、三山乡、石庄乡等乡镇,III级区主要分布于巴山镇、马鞍镇、河上镇等区域,分布范围较大,IV级则为相山镇。

表 4 崇仁县各乡镇景观格局指数计算结果
Tab.4 Calculation results of landscape pattern index of each township in Chongren County

乡镇名	耕地斑块数	E_D	P_D	$AWMSI$	V	E_s	乡镇名	耕地斑块数	E_D	P_D	$AWMSI$	V	E_s
巴山镇	352	0.06	0.08	0.48	0.59	0.78	马鞍镇	232	0.07	0.08	0.47	0.59	0.79
白陂乡	85	0.06	0.05	0.08	0.36	0.90	三山乡	121	0.07	0.07	0.21	0.44	0.85
白鹭乡	31	0.05	0.02	0.02	0.31	0.95	石庄乡	158	0.07	0.08	0.24	0.45	0.83
郭圩乡	199	0.08	0.06	0.44	0.57	0.79	孙坊镇	160	0.06	0.06	0.13	0.38	0.89
航埠镇	115	0.08	0.06	0.42	0.55	0.81	桃源乡	231	0.07	0.12	0.43	0.56	0.72
河上镇	242	0.07	0.05	0.78	0.77	0.77	相山镇	471	0.08	0.17	0.95	0.87	0.46
礼陂镇	111	0.07	0.06	0.16	0.41	0.86	许坊乡	212	0.08	0.11	0.49	0.60	0.71
六家桥	209	0.06	0.07	0.28	0.47	0.84	均值	195	0.07	0.08	0.37	0.53	0.80

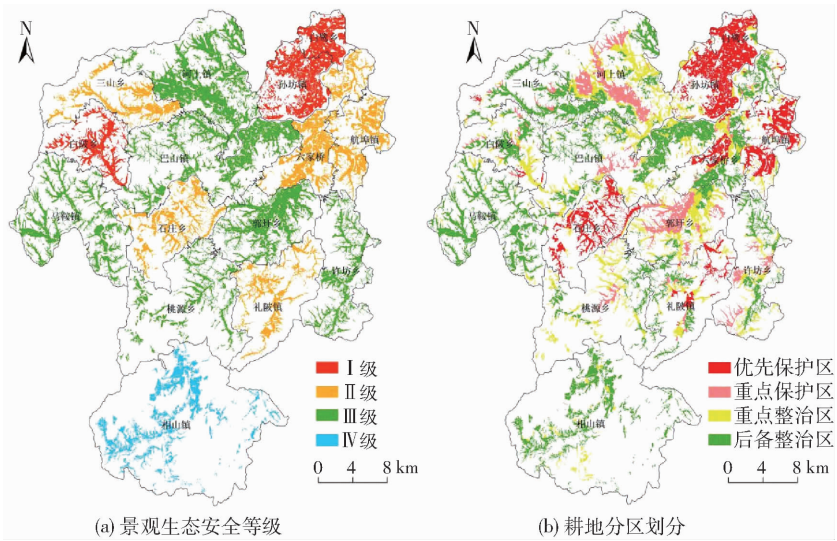


图 2 崇仁县景观生态安全级别与耕地分区划分
Fig.2 Landscape ecological security level and division of cultivated land in Chongren County

2.3 耕地分区划定

通过对耕地的综合质量的考量和综合质量空间自相关类型的划分,获知崇仁县耕地综合质量较高,综合质量空间聚类效果较好的耕地分布范围,而根据与耕地景观生态安全划定结果对比可知,耕地综合质量聚类关系良好的区域与景观生态安全高等级区分布范围有所差异,两者间存在一定的重叠范围,但也存在相当面积的差异区,因此,在结合前人研究基础上^[17],根据各耕地综合质量聚类关系和景观生态安全级别两者对应关系,进行耕地分区的划分,划分结果可由优至劣分为优先保护区、重点保护区、重点整治区和后备整治区(表5)。

(1)优先保护区。该区耕地主要分布于H-H聚集区,景观生态安全等级I级、II级区,面积为80.95 km²,占崇仁县耕地总面积的20.95%,占H-H聚集总面积的65.54%,其图斑个数较多(10 790个),平均斑块面积较小(7 502.54 m²),空间分布上主要集中于孙坊镇、白鹭乡、石庄乡等区域,具有最优越的综合质量聚类关系,较高的景观生态安全等级,此区域耕地连片程度高,土壤质地好,排水灌溉条件优越,同时其景观脆弱指数、景观分离指数较低,从其自身综合条件和景观生态安全条件来看,均为最适宜划为永久基本农田的区域,应当优先划为永久基本农田进行保护。

(2)重点保护区。该区耕地主要分布于 H-L 聚集与景观生态安全等级Ⅰ级、Ⅱ级区的重叠区, H-H 聚集与景观生态安全等级Ⅲ级区重叠区,面积为 52.15 km²,占崇仁县耕地总面积的 13.50%,其图斑个数最少,有 5 316 个图斑,平均斑块面积最大(9 810.92 m²),主要分布于河上镇、桃源乡等区域,该区域耕地主要分布于城镇周边,具有较高的耕作便捷度和交通通达度,耕地自然质量较好,其景观生态安全指数较高或与聚类关系较匹配,是永久基本农田重点划定区域,而此类耕地往往距离中心城镇、道路干线的距离较近,容易被城市的扩张等人为因素破坏,是亟需进行永久基本农田划定的重点区域,其划为永久基本农田的优先程度应仅低于优先保护区。

(3)重点整治区。该区耕地面积为 86.03 km²,占崇仁县耕地总面积的 22.27%,其图斑个数较少,平均斑块面积约为 8 776.54 m²,主要分布于低值聚集区、无显著聚集区以及聚类关系与景观生态安全协调程度较低的区域,主要于许坊乡、河上镇、巴山镇等乡镇分布,分布较为分散,该区域耕地自然条件普遍较差,排水灌溉等基础设施不够完善,交通便捷

程度较差,部分耕地景观安全级别较高,但与耕地聚集关系不匹配。应当因地制宜的进行土地差别化整治,从健全排水灌溉设施、改善耕地自然属性、提高耕地管理水平、耕地规整等措施进行适当的整治,以进一步提升耕地的聚集效果与景观生态安全等级,从而划入永久基本农田。

(4)后备整治区。该区耕地面积为 167.19 km²,占崇仁县耕地总面积的 43.28%,是崇仁县耕地分区中面积最大的一类,其图斑个数最多,平均斑块面积约为 8 670.57 m²,主要分布于低值聚集区、无显著聚集区、景观生态安全等级Ⅳ级区,包括马鞍镇、相山镇、白陂乡等乡镇,分布较为连片和集中,该区域耕地自然属性多数较差,如土壤质地与剖面构型等条件弱于其他区域耕地,而其所在区域的地形条件、交通条件也明显弱于其他耕地。此区域耕地耕作难度大,耕作投入产出比低,不太适宜作为永久基本农田区的划定范围,但可以根据社会经济发展对耕地保护和粮食产量的要求,通过选取具有发展潜力、易于改善的耕地进行集中整治,将其发展成为永久基本农田后备区。

表 5 耕地分区划分规则
Tab.5 Division rule of cultivated land

划分类型	面积/ km ²	面积 占比/%	图斑 个数	平均斑块 面积/m ²	自相关类型与景观生态安全等级	主要分布乡镇	备注
优先保护区	80.95	20.95	10 790	7 502.54	(H-H,Ⅰ级)、(H-H,Ⅱ级)	孙坊镇、白鹭乡、石庄乡等	聚类效果好,景观生态安全程度高
重点保护区	52.15	13.50	5 316	9 810.92	(H-L,Ⅰ级)、(H-L,Ⅱ级)、(H-H,Ⅲ级)	河上镇、桃源乡等	聚类效果较好,景观生态安全程度较高,两者相对协调
重点整治区	86.03	22.27	9 802	8 776.54	(L-H)、(N-N,Ⅰ级)、(N-N,Ⅱ级)、(N-N,Ⅲ级)、(H-H,Ⅳ级)、(H-L,Ⅲ级)、(H-L,Ⅳ级)、(L-H,Ⅱ级)、(L-H,Ⅰ级)	许坊乡、河上镇、巴山镇等	无显著聚类或低值聚类为主,与景观生态安全协调程度低
后备整治区	167.19	43.28	19 283	8 670.57	(L-L)、(N-N,Ⅳ级)	马鞍镇、相山镇、白陂乡等	聚集效果差、景观生态安全等级低

2.4 永久基本农田划定结果

根据崇仁县永久基本农田划定任务要求,需划入永久基本农田 305.94 km²,根据前文中的耕地分区划分结果,将处于优先保护区、重点保护区的耕地优先划入永久基本农田,重点整治区与后备整治区的耕地有选择性划入永久基本农田,在划定过程中,以永久基本农田的内涵为理论基础,在综合考虑耕地综合质量、综合质量空间聚集效果、耕地景观安全指数、避免频繁调整与补划的基础上进行,划定过程中兼顾城市开发边界、生态红线等相关划定工作,努力实现永久基本农田数量、质量和生态“三位一体”的最优化。划定结果显示(图 3),崇仁县永久

基本农田划定范围主要于河上镇、孙坊镇、白鹭乡、郭圩乡、石庄乡等乡镇有着较大面积的连片分布,于巴山镇、马鞍镇、相山镇等乡镇有着较为零散的分布,根据数量关系分析结果显示(表 6):优先保护区的永久基本农田主要分布于白鹭乡、航埠镇、孙坊镇等乡镇,其面积分别占永久基本农田面积的 4.49%、5.06%、7.85%,斑块数量分别占永久基本农田面积的 6.33%、6.02%、13.12%;重点保护区中的永久基本农田划定范围主要分布于河上镇、郭圩乡,其面积分别占总面积的 4.60%、5.66%,斑块数量占总量的 4.80%、5.28%;重点整治区中巴山镇、郭圩乡、河上镇、桃源乡分别有

11.29、12.85、17.91、9.23 km²耕地划为永久基本农田,分别占永久基本农田面积的3.69%、4.20%、5.85%、3.02%,斑块数量占总量的5.13%、4.88%、6.67%、2.84%;后备整治区中各乡镇分布的斑块均较少,在巴山镇、马鞍镇、相山镇有较大面积的分布,分别占永久基本农田的4.55%、4.35%、5.82%。划入永久基本农田的耕地自然条件较为优越,多数位于集镇周边与交通干线周边,分布集中连片,有效避免了永久基本农田划定结果过于分散的问题,也为永久基本农田的保护和管理工作提供了很大的便利。

2.5 永久基本农田划定结果对比

根据永久基本农田划定结果,结合《崇仁县永久基本农田划定成果(2017年)》,将使用传统划定方式划定的永久基本农田成果与本研究所采用的基

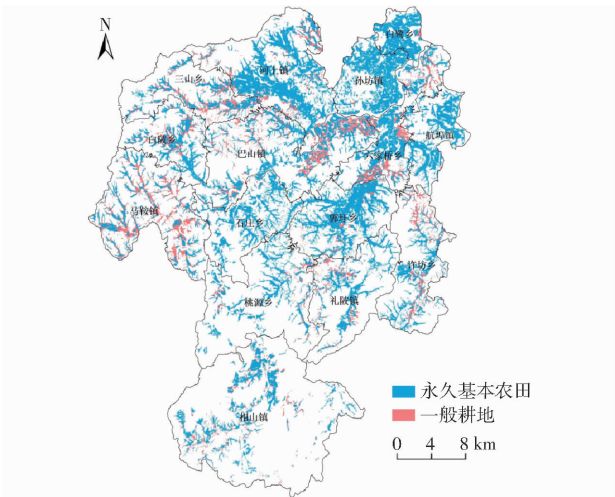


图 3 崇仁县永久基本农田分布图
Fig.3 Distribution map of permanent basic farmland in Chongren County

表 6 崇仁县各乡镇永久基本农田分布
Tab.6 Distribution of permanent basic farmland in Chongren County

乡镇名	优先保护区				重点保护区				重点整治区				后备整治区			
	面积/ km ²	面积占 比/%	斑块 数	斑块占 比/%	面积/ km ²	面积占 比/%	斑块 数	斑块占 比/%	面积/ km ²	面积 占比/%	斑块 数	斑块 占比/%	面积/ km ²	面积 占比/%	斑块 数	斑块 占比/%
巴山镇	0	0	0	0	3.45	1.13	373	1.41	11.29	3.69	1 360	5.13	13.92	4.55	472	1.78
白陂乡	0.60	0.20	56	0.21	2.35	0.77	213	0.80	4.71	1.54	520	1.96	4.73	1.55	147	0.55
白陂乡	13.73	4.49	1 679	6.33	0.05	0.01	10	0.04	0.62	0.20	86	0.32	0.17	0.06	5	0.02
郭圩乡	0	0	0	0	14.08	4.60	1 401	5.28	12.85	4.20	1 294	4.88	3.15	1.03	73	0.28
航埠镇	15.48	5.06	1 595	6.02	0.23	0.08	18	0.07	3.14	1.03	403	1.52	0.22	0.07	8	0.03
河上镇	0	0	0	0	17.33	5.66	1 274	4.80	17.91	5.85	1 770	6.67	7.57	2.48	250	0.94
礼陂镇	5.00	1.63	535	2.02	1.53	0.50	181	0.68	4.34	1.42	570	2.15	2.65	0.87	91	0.34
六家桥乡	5.92	1.93	774	2.92	2.26	0.74	276	1.04	6.05	1.98	833	3.14	6.87	2.24	202	0.76
马鞍镇	0	0	0	0	0.27	0.09	23	0.09	1.57	0.51	217	0.82	13.29	4.35	395	1.49
三山乡	0.40	0.13	61	0.23	1.91	0.62	155	0.58	0.48	0.16	64	0.24	8.44	2.76	273	1.03
石庄乡	15.63	5.11	1 269	4.79	0.31	0.10	25	0.09	1.61	0.53	188	0.71	1.20	0.39	35	0.13
孙坊镇	24.01	7.85	3 478	13.12	0.39	0.13	54	0.20	3.63	1.19	548	2.07	0.26	0.09	11	0.04
桃源乡	0	0	0	0	2.64	0.86	139	0.52	9.23	3.02	753	2.84	3.81	1.25	117	0.44
相山镇	0	0	0	0	0	0	0	0	3.52	1.15	348	1.31	17.80	5.82	355	1.34
许坊乡	0	0	0	0	5.07	1.66	571	2.15	5.08	1.66	848	3.20	3.20	1.04	121	0.46
合计	80.76	26.40	9 447	35.63	51.87	16.95	4 713	17.77	86.03	28.13	9 802	36.96	87.28	28.55	2 555	9.64

于耕地综合质量、综合质量聚类关系、景观生态安全划定的永久基本农田结果进行对比(表7),结果表明,本研究划定的永久基本农田平均斑块面积显著大于传统划定方式,降低了零散耕地划入永久基本农田的比例;本研究采用的划定方式将平均耕地质量国家利用等别由传统划定方式下的6.40提高到了6.58,将国家利用等别较高的优质耕地更多地划

入了永久基本农田;新划定方式下的永久基本农田平均耕地综合质量分值为67.97,高出传统划定方式2.84,平均景观生态安全指数则高出传统划定方式0.06。综合以上分析可知,本研究所采用的方法将耕地综合质量、局部自相关性、景观格局考虑到基本农田划定中,划入的耕地更符合永久基本农田的要求,有助于基本农田长期的管理和保护。

表 7 永久基本农田划定成果对比
Tab.7 Comparison of achievement of permanent basic farmland

划定方法	划定面积/km ²	平均斑块面积/m ²	平均国家利用等别	平均耕地综合质量分值	平均景观生态安全指数
传统划定方法	305.94	17 315.06	6.40	65.13	0.75
本研究方法	305.94	18 528.34	6.58	67.97	0.81

3 结论

(1)由耕地综合质量及综合质量自相关分析可知,耕地综合质量评价分值较高的地块分布主要集中于孙坊镇、航埠镇、白鹭乡等乡镇;分值较低的区域多分布于郭圩乡、许坊乡、河上镇等乡镇。高-高聚集与高-低聚集区多分布于河上镇、石庄乡、孙坊镇等乡镇,低-高聚集与低-低聚集多分布于马鞍镇、白陂乡、香山镇等乡镇,高-高聚集与高-低聚集区具

有较高的耕地质量和良好的聚集效果,更适宜划为永久基本农田。

(2)根据各景观生态安全指数的计算结果可知,景观生态安全程度较高的区域主要位于孙坊镇、白鹭乡、白陂乡、三山乡、石庄乡等乡镇,巴山镇、马鞍镇、河上镇等乡镇景观生态安全程度较低,相山镇最低。根据耕地综合质量空间聚类关系与景观生态安全格局的对应关系进行永久基本农田划定,对提高永久基本农田的聚集性与稳定性有重要的意义。

参 考 文 献

- 1 张皓玮,方斌,魏巧巧,等.区域耕地生态价值补偿量化模型构建——以江苏省为例[J].中国土地科学,2015,29(1):63-70.
ZHANG Haowei,FANG Bin,WEI Qiaqiao,et al. Building quantitative model of ecological value compensation for regional arable land: a case study of Jiangsu Province[J]. China Land Science,2015,29(1):63-70. (in Chinese)
- 2 宋小青,欧阳竹,柏林川.中国耕地资源开发强度及其演化阶段[J].地理科学,2013,33(2):135-142.
SONG Xiaoqing,OUYANG Zhu,BAI Linchuan. Evaluation and evolution of exploitative intensity of cultivated land resources in China[J]. Scientia Geographic Sinica,2013,33(2):135-142. (in Chinese)
- 3 王新盼,姜广辉,张瑞娟,等.高标准基本农田建设区域划定方法[J].农业工程学报,2013,29(10):241-250.
WANG Xinpan,JIANG Guanghui,ZHANG Ruijuan,et al. Zoning approach of suitable areas for high quality capital farmland construction[J]. Transactions of the CSAE,2013,29(10):241-250. (in Chinese)
- 4 鲁学军,武鹏达,郭旭东.二值形态闭运算在优质耕地集中连片划定中的应用[J].中国图象图形学报,2016,21(2):199-206.
LU Xuejun, WU Pengda, GUO Xudong. Application of binary morphological closing operation for aggregation connectivity planning in high-quality arable land[J]. Journal of Image and Graphics,2016,21(2):199-206. (in Chinese)
- 5 聂艳,吴西子,于婧,等.基于土地评价和空间聚类的基本农田划定方法研究——以湖北省鹤峰县为例[J].中国土地科学,2013,27(12):39-45.
NIE Yan,WU Xizi,YU Jing,et al. Primary farmland zoning based on land evaluation and spatial clustering: a case of Hefeng County [J]. China Land Science,2013,27(12):39-45. (in Chinese)
- 6 钱凤魁,王秋兵,边振兴,等.永久基本农田划定和保护理论探讨[J].中国农业资源与区划,2013,34(3):22-27.
QIAN Fengkui,WANG Qiubing,BIAN Zhenxing,et al. Discussion about the permanent basic farmland planning and protection[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning,2013,34(3):22-27. (in Chinese)
- 7 李建春,张军连,李宪文,等.银川市基本农田保护区空间布局合理性评价[J].农业工程学报,2013,29(3):242-249.
LI Jianchun,ZHANG Junlian,LI Xianwen,et al. Evaluation of spatial distribution of basic farmland conservation area in Yinchuan [J]. Transactions of the CSAE,2013,29(3):242-249. (in Chinese)
- 8 刘辉.河南省耕地与基本农田保护态势及对策研究[J].中国农业资源与区划,2016,37(10):67-70.
LIU Hui. Situation and countermeasures of the cultivated land and basic farmland protection in Henan Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning,2016,37(10):67-70. (in Chinese)
- 9 任艳敏,孙九林,刘玉,等.县域永久基本农田划定方法研究[J/OL].农业机械学报,2017,48(4):135-141. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170417&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.04.017.
REN Yanmin, SUN Jiulin, LIU Yu,et al. Delineation method of permanent basic farmland on a county scale[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017,48(4):135-141. (in Chinese)
- 10 朱美青,黄宏胜,史文娇,等.基于多规合一的基本农田划定研究——以江西省余江县为例[J].自然资源学报,2016,31(12):2111-2121.
ZHU Meiqing, HUANG Hongsheng, SHI Wenjiao,et al. The research of prime farmland demarcation based on multi-planning-in-one: a case study of Yujiang County, Jiangxi Province [J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(12):2111-2121. (in Chinese)
- 11 边振兴,杨子娇,钱凤魁,等.基于LESA体系的高标准基本农田建设时序研究[J].自然资源学报,2016,31(3):436-446.
BIAN Zhenxing,YANG Zijiao,QIAN Fengkui,et al. Study on time sequence of high-standard prime farmland based on LESA[J]. Journal of Natural Resources,2016,31(3):436-446. (in Chinese)
- 12 李武艳,朱从谋,王华,等.浙江省耕地质量多尺度空间自相关分析[J].农业工程学报,2016,32(23):239-245.
LI Wuyan,ZHU Congmou,WANG Hua,et al. Multi-scale spatial autocorrelation analysis of cultivated land quality in Zhejiang Province[J]. Transactions of the CSAE,2016,32(23):239-245. (in Chinese)
- 13 熊昌盛,韦仕川,栾乔林,等.基于Moran's I分析方法的耕地质量空间差异研究——以广东省广宁县为例[J].资源科学,2014,36(10):2066-2074.
XIONG Changsheng,Wei Shichuan,LUAN Qiaolin,et al. Spatial pattern disparity and cultivated land quality based on Moran's I analysis[J]. Resources Science,2014,36(10):2066-2074. (in Chinese)
- 14 王千,金晓斌,周寅康.江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制[J].生态学报,2011,31(20):5903-5909.

WANG Qian,JIN Xiaobin,ZHOU Yinkang. Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2011,31(20):5903 – 5909. (in Chinese)

15 裴欢,魏勇,王晓妍,等. 耕地景观生态安全评价方法及其应用[J]. *农业工程学报*,2014,30(9):212 – 219.
PEI Huan,WEI Yong,WANG Xiaoyan,et al. Method of cultivated land landscape ecological security evaluation and its application [J]. *Transactions of the CSAE*,2014,30(9):212 – 219. (in Chinese)

16 李秀芝. 北戴河新区耕地景观生态安全时空变化研究[J]. *中国农业资源与区划*,2017,38(3):59 – 64.
LI Xiuzhi. The temporal and spatial changes of cultivated land landscape ecological security in Beidaihe new district[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*,2017,38(3):59 – 64. (in Chinese)

17 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 CSAE*,2015,31(23):222 – 229. (in Chinese)

18 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/OL]. *农业机械学报*,2016,47(12):337 – 346.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20161242&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.12.042.

SUN Qian,NIU Haipeng,LEI Guoping,et al. Well-facilitied farmland construction zoning and project site selection [J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2016,47(12):337 – 346. (in Chinese)

19 赵筱青,王兴友,谢鹏飞,等. 基于结构与功能安全性的景观生态安全时空变化——以人工园林大面积种植区西盟县为例[J]. *地理研究*,2015,34(8):1581 – 1591.
ZHAO Xiaoqing,WANG Xingyou,XIE Pengfei,et al. Spatio-temporal changes of landscape eco-security based on structure and function safety: a case study of a large artificial forest planted area in Ximeng County, China[J]. *Geographical Research*,2015,34(8):1581 – 1591. (in Chinese)

20 YUAN Z Q, YU K L, GUAN X K, et al. Medicago sativa, improves soil carbon sequestration following revegetation of degraded arable land in a semi-arid environment on the Loess Plateau, China[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*,2016,232:93 – 100.

21 BARTALEV S A, PLOTNIKOV D E, LOUPIAN E A. Mapping of arable land in Russia using multi-year time series of MODIS data and the LAGMA classification technique[J]. *Remote Sensing Letters*,2016,7(3):269 – 278.

(上接第194页)

21 李际平,陈端吕,袁晓红,等. 人类干扰对森林景观类型相关性的影响研究[J]. *中南林业科技大学学报*,2009,29(5):39 – 43.
LI Jiping,CHEN Duanlü,YUAN Xiaohong,et al. Study on the influence of Human disturbance on the correlation of forest landscape types[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*,2009,29(5):39 – 43. (in Chinese)

22 岳德鹏,于强,张启斌,等. 区域生态安全格局优化研究进展[J/OL]. *农业机械学报*,2017,48(2):1 – 10. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170201&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.02.001.

YUE Depeng,YU Qiang,ZHANG Qibin,et al. Research progress of regional ecological security pattern optimization[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2017,48(2):1 – 10. (in Chinese)

23 高广磊,信忠保,丁国栋,等. 基于遥感技术的森林健康研究综述[J]. *生态学报*,2013,33(6):1675 – 1689.
GAO Guanglei,XIN Zhongbao,DING Guodong,et al. Forest health studies based on remote sensing;a review[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2013,33(6):1675 – 1689. (in Chinese)

24 奚为民,戴尔阜,贺红土. 森林景观模型研究新进展及其应用[J]. *地理科学进展*,2016,35(1):35 – 46.
XI Weimin,DAI Erfu,HE Hongshi. Advances in forest landscape modeling;current research and applications[J]. *Progress in Geography*,2016,35(1):35 – 46. (in Chinese)

25 王蕾,陈崇成,唐丽玉. 集成虚拟森林环境与景观指数计算模型的森林景观格局分析[J]. *地球信息科学学报*,2017,19(2):281 – 288.
WANG Lei,CHEN Chongcheng,TANG Liyu. Analysis of forest landscape pattern based on virtual forest environment and landscape index calculation model[J]. *Journal of Geo-information Science*,2017,19(2):281 – 288. (in Chinese)

26 于晓文,康峰峰,韩海荣,等. 冀北辽河源森林景观格局特征及破碎化研究[J]. *安全与环境学报*,2014,14(2):278 – 282.
YU Xiaowen,KANG Fengfeng,HAN Hairong,et al. Study on landscape pattern and fragmentation of Liaohe source forest in northern Hebei[J]. *Journal of Safety and Environment*,2014,14(2):278 – 282. (in Chinese)

27 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2007.

28 高啸峰,王树德,宫阿都,等. 基于主成分分析法的土地利用/覆被变化驱动力研究[J]. *地理与地理信息科学*,2009,25(1):36 – 39.
GAO Xiaofeng,WANG Shude,GONG Adu,et al. Land use and land cover change and its driving forces analysis based on principle component analysis;a case study of Jiaonan City in Shandong Province[J]. *Geography and Geo-information Science*,2009,25(1):36 – 39. (in Chinese)