

基于空间聚类的西藏耕地后备资源开发组合模型

杨永侠^{1,2} 施彦如¹ 孙婷¹ 孟丹¹ 卜春燕³ 王旭¹

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 国土资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100035;
3. 甘肃省国土资源规划研究院, 兰州 730000)

摘要: 耕地后备资源开发科学合理布局直接影响土地资源可持续利用以及区域生态环境保护。以西藏自治区为研究区,以西藏第二轮耕地后备资源调查评价成果为基础,针对西藏特殊环境,提出基于自然和社会适宜性的西藏耕地后备资源开发适宜性评价模型;并以乡镇为聚类单元,以各乡镇耕地后备资源综合适宜性指数、集中连片指数以及增产潜力指数为变量,考虑空间近邻关系,采用基于图论的 SKATER 算法进行聚类分析,确定西藏耕地后备资源开发组合。结果显示:依据开发适宜性评价模型,西藏自治区耕地后备资源最适宜、中等适宜和勉强适宜的地块分别占全区耕地后备资源总面积的 27.98%、49.09%、22.93%;根据开发组合模型,将具有耕地后备资源的乡镇分为 3 个组合,分别为近期重点开发、中期适度开发及后期开发区域。此分区结果保持了区块间的近邻关系及行政区界的完整性,为耕地后备资源开发区划提供借鉴,同时为发挥农业规模效益提供了科学依据。

关键词: 耕地后备资源; 适宜性; 空间聚类; SKATER 聚类

中图分类号: F301.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)04-0239-09

Spatial Clustering-based Model of Exploitation Combination for Reserved Cultivated Land Resources in Tibet

Yang Yongxia^{1,2} Shi Yanru¹ Sun Ting¹ Meng Dan¹ Bu Chunyan¹ Wang Xu¹

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. Key Laboratory for Agricultural Land Quality, Monitoring and Control, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China
3. Gansu Institution of Land and Resources Planning, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Development and layout of the reserved cultivated land resources directly affects the sustainable utilization of land resources and protection of ecological environment. Based on the results of the second round survey of reserved cultivated land resources and targeted at the special environment in Tibet, an exploitation suitability evaluation model of reserved cultivatable land resources in Tibet was presented based on the natural and social benefits. Taking the township level administrative region in Tibet as a unit, clustering variables included each township comprehensive suitability index, continuously concentrated index and yield potential index of reserved cultivatable land resources. Considering the spatial neighbor relationship, the spatial “K” luster analysis was used by tree edge removal (SKATER) algorithm based on graph theory. The cluster analysis was used to determine the exploitation combination of reserved cultivated land resources in Tibet. The results showed that the exploitation suitability of reserved cultivated land resources included three grades, which were the most suitability area, the medium suitability area and the barely suitability area. The area of them accounts for 27.98%, 49.09% and 22.93% of total area of the study area, respectively. According to the model of exploitation combination, the townships with reserved cultivated land resources were divided into three groups as the

recently major development area, medium-term moderate development area and long-term development area, which maintained neighbor relationships between the objects, as well as the integrity of the district territories. Furthermore, the results provided reference for the development partition of reserved cultivated land resources for local governments, and it also provided scientific basis for agricultural economy.

Key words: reserved cultivated land resources; suitability; spatial clustering; SKATER clustering

引言

耕地是农业生产的基础,关乎国家粮食安全和
社会稳定。随着城市化、工业化步伐加快,在经济建
设不可避免地占有用现有耕地的情况下,适度、适量
地开发一部分耕地后备资源以确保耕地动态平衡已
成为我国耕地保护和粮食安全的一个重要举
措^[1-2]。科学而合理地开发利用耕地后备资源,有
利于土地资源的可持续利用,保证耕地质量。对于
生态脆弱地区,保护生态和确保耕地质量是耕地后
备资源开发利用的前提,耕地后备资源开发布局科
学与否直接影响其生态环境,因此对耕地后备资源
进行开发组合序列研究,从而为耕地后备资源开发
利用提供建议显得尤为重要。

目前,许多学者从适宜性评价^[3-5]、潜力分
析^[6-8]、开发时序^[9]、组合分区^[10-11]等方面,对不
同地区的耕地后备资源做了深入的探讨,在对耕地后
备资源的开发组合方面,学者们主要用聚类方法进
行组合,对于聚类变量的选择,大多数学者从自然属
性和区位条件的角度对耕地后备资源进行组合聚
类,较少考虑其空间分布特征;聚类方法主要采用基
于属性相似性的聚类方法,较少考虑其空间近邻关
系。由于耕地后备资源的开发组合要求各组合内部
在自然、经济等方面相对一致,又要考虑其行政区
界的完整性及空间近邻关系,采用普通的聚类方法,
难以使分类结果满足分区原则。黄海霞等^[10]、王亚
坤等^[11]考虑空间位置的影响,采用两维图论聚类
法对耕地后备资源开发组合进行研究,为其开发利
用提供科学依据。

SKATER 算法^[12]是一种在简单的两维图论聚
类方法上结合组合优化算法的空间聚类方法,能够
将区域化问题转化为图的划分问题,在研究干旱^[13]
、土地利用和覆盖变化^[14]等方面已有所应用。
本文在综合耕地后备资源适宜性评价相关研究内
容基础上,根据西藏自治区独特的地理环境及生态
条件,基于耕地后备资源空间分布格局的视角,在
研究西藏自治区耕地后备资源开发适宜性的基础
上,采用 SKATER 聚类算法创建开发组合模型,为
西藏自治区耕地后备资源合理开发利用提供科学
依据。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

西藏自治区平均海拔高度超过 4 000 m,地势
总趋势西北高、东南低,高原边缘高、中部低,其
自然地理环境独具特色,是一个兼有多种地貌的
地区。受地理位置、地势、大气环流和太阳辐射
等因子影响,气候高寒而且特殊,类型复杂多样,
区域差异和垂直变化十分明显,总体上具有西北
严寒、东南温暖湿润的特点,呈现出由东南向西
北的带状分布,约占土地面积 2/3 的地区年平均
气温低于 0℃,积温小,热量条件差,年平均温差
小,但昼夜温差大;太阳辐射强,日照长,是我国
光能资源最丰富的地区;年降水量由东南向西北
递减,季节分配不均匀。

西藏自治区下辖 4 个地级市(拉萨市、昌都
市、日喀则市和林芝市)、3 个地区(山南地区、
那曲地区、阿里地区),总计 73 个县(市/区)。
全区土地总面积 12 021.89 万 hm²,其地类主要
为草地,林地和其他用地次之,耕地较少,2010
年末耕地面积仅占土地总面积的 0.37% (图 1)。
2011 年度西藏自治区耕地质量等级成果补充完
善成果表明,耕地质量总体低于全国的平均水平。
西藏自治区可作为耕地后备资源评价对象的未利
用地有其他草地、内陆滩涂、沙地、沼泽地、裸
地、采矿用地等,根据西藏自治区耕地后备资源
调查评价结果,西藏自治区有 30 个县有耕地后
备资源,耕地后备资源面积占全自治区土地总面
积的 0.01%,类型包括可开垦土地和可复垦土
地 2 大类,主要以可开垦土地为主,占耕地后
备资源总量的 99.86%,其中可开垦其他草地数
量居多,占耕地后备资源总面积的 75.39%;其
次为可开垦内陆滩涂,占耕地后备资源总面积
的 21.27%;可复垦土地为可复垦采矿用地,面
积较少,占耕地后备资源总面积的 0.14%。

1.2 数据来源

本文主要以新一轮西藏自治区耕地后备资源
调查评价成果数据为基础,所涉及的数据还包括
西藏自治区 2012 年度土地调查数据、30 m DEM
数据、耕地质量补充完善成果数据、土地整治
规划、全国土壤普查成果数据、大于 10℃ 的年
积温数据、年降水量数据和统计年鉴数据等。

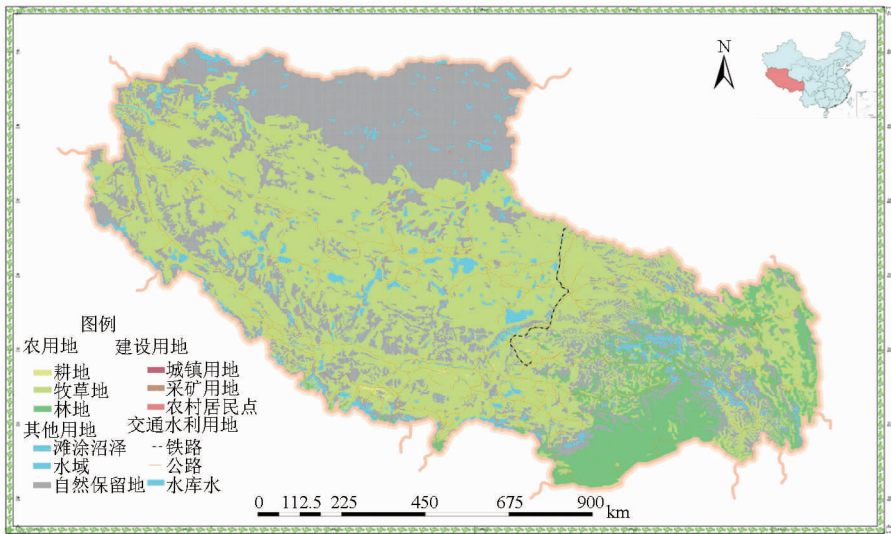


图 1 西藏自治区土地利用现状图

Fig. 1 Current land-ues map of Tibet Autonomous Region

2 研究方法

采用西藏自治区耕地后备资源调查评价数据中宜耕图斑为评价底图,以各地类图斑为评价单元,结合西藏独特的地理环境,从自然和社会适宜性 2 个方面构建耕地后备资源开发适宜性评价指标体系,得到各耕地后备资源适宜性综合分值。在此基础上,结合当地耕地后备资源综合适宜性、集中连片指数以及增产潜力指数,基于图论原理,采用 Delaunay 三角剖分算法与 SKATER 算法相结合,以乡镇级行政区为单元,确定不同地域组合的耕地后备资源开发组合序列模型。

2.1 适宜性评价方法

2.1.1 评价指标体系构建

在影响耕地后备资源开发时序的众多因素中,结合西藏自治区本身,从自然适宜性和社会适宜性 2 个层面,选择耕地后备资源开发适宜性指标。

(1) 自然适宜性指标

耕地后备资源自然质量很大程度上决定了开发的难易程度,并且影响到开发的生态风险问题,对耕地后备资源开发有着重要影响,其自然质量主要由气候条件、地形条件和水土条件决定。选取大于 10℃ 的年积温和年降水量为气候指标因子,海拔高度和坡度为地形指标因子,有效土层厚度、土壤有机质含量、土壤 pH 值和水源距离为水土指标因子。通过对基础数据进行统计分析、插值处理、空间连接、近邻分析等方法得到各评价指标值。

(2) 社会适宜性指标

耕地后备资源社会适宜性评价从区位条件和空间形态 2 个方面考虑。区位条件主要体现耕地后备资源开发利用的便利度,能够对农户的用地行为产生影响,选取耕作距离、道路距离为区位指标因子。

耕作距离为地块与其所属的居民点间的最短距离,道路距离为地块与最近的道路的距离。

耕地后备资源的空间形态对耕作的稳定性及耕作便利性具有很大影响。选取田块规整度和成片度 2 项指标分析耕地后备资源空间形态^[15-16]。其中用景观生态学中的斑块分维度来表示田块规整度^[17-18]。其计算公式为

$$F = \frac{2 \lg \frac{p}{4}}{\lg a} \tag{1}$$

式中 F ——田块规整度,值域为 $[1, 2]$

p ——地块周长, m a ——地块面积, m^2

用田块成片度表示其田块的经营规模^[19],其计算公式为

$$B = \begin{cases} 1 & (a > b_1) \\ 1 - \frac{0.9(b_1 - a)}{b_1 - b_2} & (b_2 < a \leq b_1) \\ 0.1 & (a \leq b_2) \end{cases} \tag{2}$$

式中 B ——田块成片度

b_1, b_2 ——对全自治区所有耕地后备资源地块面积采用自然断点法将其分为 3 个等级得到的较大临界值和较小临界值

B 值域为 $[0.1, 1]$, B 值越大表明成片程度越高,反之则越低。

鉴于各评价指标性质不同,采用模糊理论的隶属度函数对指标进行标准化,根据各评价指标的性质确定各指标的隶属度函数,计算每个评价单元的隶属度,作为该评价单位的指标分值。

2.1.2 评价指标权重确定

利用专家打分与层次分析法结合,分别得到自然

适宜性和社会适宜性的各个指标权重(表1),具体方法为:建立层次结构模型,将开发适宜性指标划分归为3个层次,子目标层、中间层、指标层;根据比较矩阵构建原则,通过专家打分确定中间层和指标层中各个因子的相对重要性,构建判断矩阵;计算判断矩阵的最大特

征值及对应的特征向量,确定层次单排序的权重值,并对结果进行一致性检验,计算得到各子目标层的各判别矩阵一致性指标及随机一致性比率均小于0.1,具有满意的一致性;进行层次总排序,通过和积法计算每个评价指标对所对应的子目标层组合权重。

表 1 西藏耕地后备资源开发适宜性评价指标体系

Tab.1 Evaluation index system of exploitation suitability for reserved cultivated land resources in Tibet Autonomous Region

子目标层	中间层	中间层相对权重	指标层	指标层相对权重	组合权重
自然适宜性	气候条件	0.411	大于10℃的年积温	0.750	0.3083
			年降水量	0.250	0.1028
	地形条件	0.327	海拔高度	0.333	0.1093
			坡度	0.667	0.2185
			有效土层厚度	0.387	0.1011
	水土条件	0.261	土壤有机质含量	0.198	0.0517
			土壤pH值	0.274	0.0718
			水源距离	0.139	0.0365
			耕作距离	0.500	0.3335
			道路距离	0.500	0.3335
社会适宜性	区位条件	0.667	田块规整度	0.500	0.1665
	空间形态	0.333	田块成片度	0.500	0.1665

2.1.3 适宜性评价模型

通过隶属度函数计算各评价指标因子中各评价单元的隶属度后,采用指数加权和法分别计算子目标层自然适宜性和社会适宜性的分值,计算公式为

f_n = \sum_{j=1}^t w_j \mu_j \tag{3}

式中 f_n——评价单元的第n个子目标层分值
w_j——第j个评价指标的权重
μ_j——第j个评价指标的指标分值
t——总评价指标数

为避免权重的确定造成各子目标层对目标层耕地后备资源开发适宜性作用程度的影响,采用指数法^[20]计算得到各评价单元开发适宜性综合分值,计算公式为

S = \sqrt[m]{\prod_{n=1}^m f_n} \tag{4}

式中 S——耕地后备资源开发适宜性综合分值
m——子目标层数

2.2 耕地后备资源开发组合模型

通过合理规划耕地后备资源开发组合可以有效降低工程投资,并最大限度满足农业生产需求。本文在适宜性评价基础上,根据研究区实际情况,通过空间聚类确定西藏自治区各乡镇耕地后备资源开发组合。

2.2.1 聚类单元确定

农用地开发一般以行政单位进行。为便于农用地开发的实施,以西藏自治区存在耕地后备资源的

各乡镇级行政区作为聚类的基本单元,得到西藏自治区各乡镇的开发组合序列。其中,墨脱县由于未划分乡镇级行政区而未列入规划范围,因此,将具有耕地后备资源的131个乡镇进行空间聚类。

2.2.2 聚类变量

聚类变量是对聚类单元相似性评定的依据。为提高效率并确保开发利用合理性,组合内的耕地后备资源综合质量、空间分布及综合效益情况要尽可能一致。本文选取各乡镇耕地后备资源综合适宜性指数、耕地后备资源集中连片指数、耕地开发增产潜力指数为聚类变量。

(1)耕地后备资源综合适宜性指数

耕地后备资源综合适宜性指数表示区域内不同适宜性程度的耕地后备资源的综合开发潜力。利用其度量整个区域的耕地后备资源开发利用潜力既考虑了不同适宜性的耕地后备资源对区域耕地后备资源质量的影响,同时考虑了不同适宜性的地块面积大小的影响^[6]。耕地后备资源综合适宜性指数以聚类单位——乡镇级行政区为单位计算,公式为

G = \sum_{i=1}^I S_i \frac{a_i}{A} \tag{5}

式中 G——区域内耕地后备资源综合适宜性指数
S_i——区域内第i个耕地后备资源开发适宜性综合分值
a_i——区域内第i个耕地后备资源地块的面积,m²
A——区域内耕地后备资源的总面积,m²

l ——区域内耕地后备资源地块数

(2)耕地后备资源集中连片指数

地块的分布关系到耕地后备资源的开发效率，对于集中连片程度较高的区域，其水利、道路等基础设施的建设将有更高的规模效益，开垦施工组织效率较高。此外，在空间上集中连片的耕地后备资源对开发利用后耕地的产能及其生态功能的发挥有着极其重要的影响，能有效避免因为农田景观破碎而造成的生态系统退化等问题，保障农田生态景观稳定性^[15]。参照《国家投资土地开发整理项目管理暂行办法》及新一轮耕地后备资源集中连片标准，结合西藏自治区实际情况，汇总统计各乡镇耕地后备资源集中连片面积情况，具体方法为：选择大于 3.333 hm²的地块进行缓冲分析，缓冲距离为 100 m，通过融合、叠加分析等工具，提取连片后的图斑，选取最小合计面积大于 20 hm²的集中连片图斑进行统计，得到该区域内耕地后备资源集中连片面积。在此基础上，用耕地后备资源集中连片指数表示每个乡镇的集中连片程度，集中连片指数计算公式为

$$C = \frac{100A_c}{A_{all}} \tag{6}$$

式中 C ——区域耕地后备资源集中连片指数
 A_{all} ——西藏自治区耕地后备资源总面积，m²
 A_c ——区域耕地后备资源集中连片面积，m²

(3)增产潜力指数

开发某个地区的耕地后备资源能够对整个西藏自治区产量增加的程度反映了其所带来的经济效益，同时也是衡量该地区耕地后备资源总体开发潜力因素之一，而耕地后备资源是否高效利用是保证粮食产量的重要因素，因此，本文基于前人研究^[21-23]的基础上，提出耕地开发增产潜力指数模型。该模型表示开发该地区耕地后备资源后能够带来农作物产量增加的潜力大小，区域内的耕地开发增产潜力指数模型可表示为

$$E = \frac{P}{A'} \tag{7}$$

$$Y = ET \tag{8}$$

式中 E ——区域内耕地生产效率
 P ——区域内农作物总产量，t
 A' ——区域内农作物播种面积，m²
 Y ——耕地开发增产潜力指数
 T ——区域内耕地后备资源实际开发潜力

考虑实际开发的难度及投入产出效益，根据适宜性评价结果，将适宜性评价结果中区域内最适宜和中等适宜的地块作为该地区可供开发为耕地的耕地后备资源实际开发潜力。

2.2.3 开发组合聚类方法

规划耕地后备资源的开发组合不仅要综合考虑各地区的自然和社会适宜性、经济效益等内在的相似性，为保证开发效率，发挥地区农业规模效益，还应考虑空间上的近邻关系。若只将耕地后备资源属性相近作为唯一考虑因素，则组合结果往往比较分散，难以运用于实际管理。而普通数学统计的聚类方法只考虑了属性间的相似性，分类结果往往难以满足空间要求。本文采用基于图论的聚类方法进行空间组合聚类，在空间约束的基础上考虑各分区单元间的内在相似性。SKATER 算法^[12]是一种对空间对象的社会经济单元进行区域划分的有效方法，它结合了最小生成树和组合优化算法，能够集合空间关系及非空间属性的相似性，具有较优的聚类效果。具体聚类思路如下：

(1)创建连通图：基于图论方法创建连通图，表示空间要素间的邻域关系，本文采用 Delaunay 三角剖分算法作为空间约束方法，构造自然邻域。Delaunay 三角剖分算法将通过创建泰森面确定其空间邻域关系，作为聚类的空间约束方法可确保组合中的每个要素至少具有一个邻域。

(2)生成最小生成树：用图论最小生成树算法生成最小生成树，连通图上的最小生成树将集合要素空间关系和要素数据相似性。要素将成为最小生成树中通过权重边进行连接的节点。每个边的权重与其连接的对象相似性成正比。

(3)对最小生成树进行分区：构建最小生成树后，树中的分支（边）将被剪除，从而生成 2 个最小生成树。待剪除的分支将通过计算各组合的离差平方和之和进行选择，以使生成的组中的差异最小化；利用这种剪除过程对其中的一个最小生成树中进行分支剪除操作，通过多次迭代，直至获得指定的组数^[12,24]。

最佳分组个数可以通过 CALINSKI 和 HARABASZ 提出的伪 F 统计量来测量，伪 F 统计量是反映组内相似性和组间差异性的比率，伪 F 统计量越大说明聚类方案在组相似性和组差异之间具有的性能越佳，其最大值对应的组数可作为最优的聚类个数^[25]。本文通过计算不同组合数解决方案的伪 F 统计量，以此确定组合的组数。

3 结果与分析

3.1 适宜性分析

根据评价单元综合分值的频数分布直方图，利用自然断点法将其划分为 3 个等级：[0.47,0.65]、[0.66,0.73]、[0.74,0.93]，如表 2 所示。表 2 表

明中等适宜的耕地后备资源面积占总耕地后备资源面积比重最大,占 49.09%;最适宜次之,占 27.98%;勉强适宜比重最小,占 22.93%。其实际

开发潜力(最适宜和中等适宜)占总耕地后备资源的 77.07%。其中,山南地区耕地后备资源实际开发潜力最大,林芝市次之,日喀则市实际开发潜力最小。

表 2 西藏自治区耕地后备资源开发适宜性综合评价结果

Tab.2 Results of comprehensive suitability evaluation of exploitation for reserved cultivated land resources in Tibet Autonomous Region							
适宜性	综合分值	面积比例/%	分布/%				
			拉萨市	昌都市	山南地区	日喀则市	林芝市
最适宜	[0.74,0.93]	27.98	0.04	4.24	5.18	0	18.53
中等适宜	[0.66,0.73]	49.09	9.54	4.29	27.06	0.57	7.63
勉强适宜	[0.47,0.65]	22.93	2.93	3.76	8.34	2.24	5.65
合计		100	12.51	12.29	40.58	2.81	31.81

空间分布格局(图 2)来看,最适宜的耕地后备资源分布较少,主要分布在林芝市的巴宜区及墨脱县等藏东南地区,在其他地区呈零星分布,大部分最适宜的耕地后备资源地块主要为其他草地,藏东南地区平均海拔高度偏低,气候及土壤条件较优,地势较为平坦,距离水系及道路近,排水灌溉条件及交通便利条件较好,总体自然质量和社会条件综合较优,开发为耕地的适宜程度高,是耕地后备资源开发利用的首选对象;中等适宜的耕地后备资源所占比重

最大,主要分布在藏东地区,分布较集中,这些图斑的自然及社会综合适宜性较为中等,主要表现为沿水系和道路分布,区位条件及空间形态等社会适宜性程度较高,但受土壤厚度、土壤有机含量、pH 值等土壤条件及海拔高度、坡度等地形地貌条件影响,自然适宜性程度较低,综合各因素后总适宜程度较为中等,经过整理后可具有较好的开发条件。勉强适宜的耕地后备资源零散分布在山区内部,开发利用受到的限制因素较多,开发难度较大。

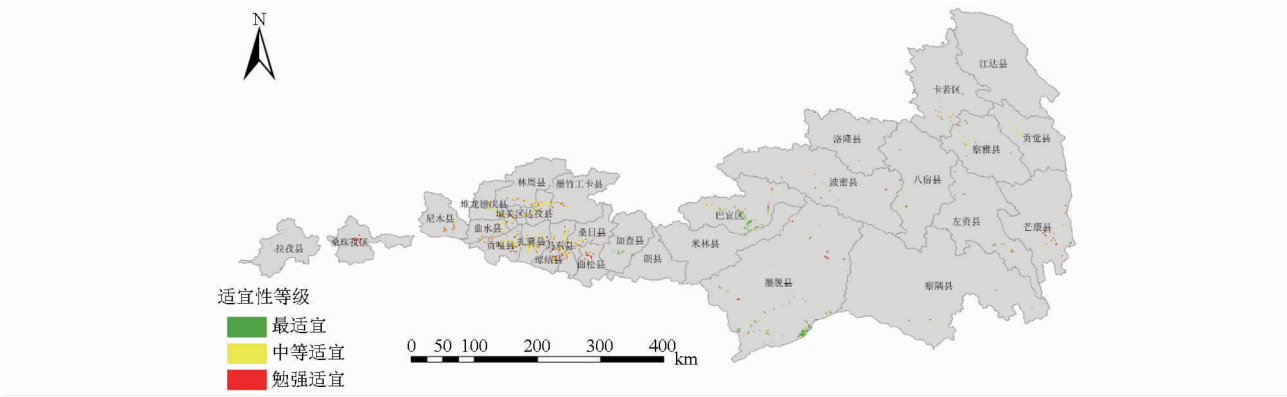


图 2 西藏耕地后备资源开发适宜性分布图

Fig.2 Distribution map of exploitation suitability for reserved cultivated land resources in Tibet Autonomous Region

3.2 开发组合结果与分析

通过提取乡镇级行政区面状要素的质心,创建泰森多边形(图 3),确定各乡镇间的空间自然邻域

关系。为了避免聚类变量各自量纲的不同对聚类结果产生的影响,先对各个聚类变量进行归一化处理。

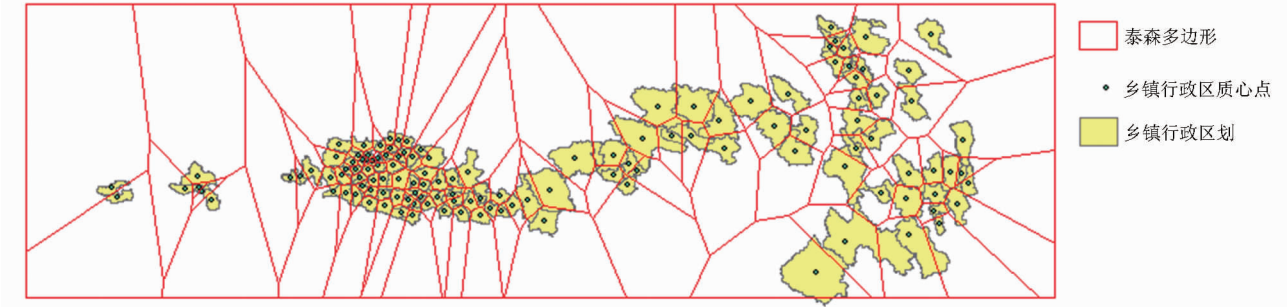


图 3 各乡镇空间邻域关系

Fig.3 Natural neighbor relationships of township

利用 SKATER 聚类算法,对不同组合方案进行多次实验,并根据每次组合方案计算得到伪 F 统计量,其伪 F 统计量随分组数变化如图 4 所示,当组数为 3 时,伪 F 统计量值最高,结合实际情况,确定最佳的组数为 3。最终确定西藏自治区耕地后备资源开发组合,计算分类得到的各组合平均水平(表 3),空间分布情况如图 5 所示。

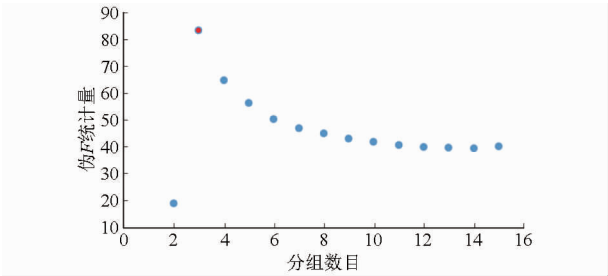


图 4 不同分类组数的伪 F 统计量

Fig. 4 Pseudo F -statistics of different classification groups

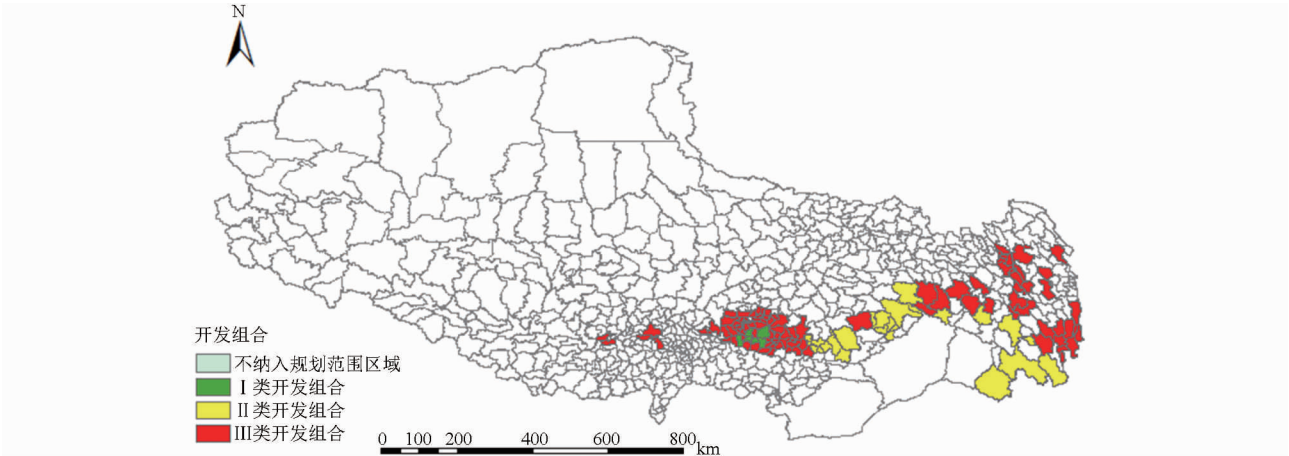


图 5 西藏耕地后备资源开发组合分布图

Fig. 5 Distribution map of combination of exploitation for reserved cultivated land resources in Tibet Autonomous Region

性程度中等,社会适宜性程度较高,耕地后备资源综合适宜性稍高于全区的平均水平;该区域耕地后备面积较大,中等适宜程度所占比重大,实际增产潜力的平均水平远高于其他地区,总增产潜力占规划范围内的 36.07%。此区域耕地后备资源在自然社会适宜性、生产效益及空间分布等方面都有明显优势,开发条件好,可作为近期的重点开发区域,建设规模性的农田基础设施,对土地进行综合整治。

(2) II 类开发组合

II 类开发组合耕地后备资源占规划范围内总耕地后备资源的 13.58%,涉及 23 个乡镇,分布于藏东南地区,主要地类为其他草地。该地区平均海拔高度较低,气候较为适宜,土地质量较优,自然和社会综合适宜性程度最高,具有很好的开发适宜条件,但由于各乡镇的耕地后备资源面积较小,其增产效益具有很大的局限性;从空间分布来看,该区域耕地后备资源分布相对零散,集中连片程度略低于全区

表 3 各组合平均水平(归一化)

Tab. 3 Average level of each combination (normalized)

	综合适宜性 指数	集中连片 指数	实际增产潜力 指数
I 类开发组合	0.511 7	0.666 7	0.591 7
II 类开发组合	0.820 4	0.069 1	0.048 3
III 类开发组合	0.387 8	0.044 1	0.049 9
全区平均水平	0.469 5	0.077 0	0.074 4

(1) I 类开发组合

I 类开发组合为扎其乡、扎唐镇、桑耶镇、杰德秀镇、甲竹林镇及昌果乡等 6 个乡镇,主要分布在山南地区的贡嘎县和扎囊县,后备资源面积占规划范围内总耕地后备资源面积的 29.34%,主要地类为其他草地和内陆滩涂。该区域位于雅鲁藏布江中游宽谷区,地势平坦、宽阔,耕地后备资源分布集中,耕地后备资源集中连片程度高;该地区总体自然适宜

平均水平,其开发为耕地将受到一定的限制。综合各方面因素,该区域总体上具有一定的耕地开发条件,可于中期进行适度开发,同时应注重对生态环境的保护,防止土地退化。

(3) III 类开发组合

III 类开发组合分布较广,涉及 102 个乡镇,在拉萨市、山南地区、日喀则市、林芝市及昌都市均有分布,此区域各乡镇耕地后备资源综合适宜性平均水平、集中连片水平及增产潜力皆略低于全区平均水平,后备资源地类主要以其他草地、内陆滩涂为主,少量裸地,该区域受气候、地形及土壤影响,与其他地区相比,综合适宜性平均水平最低,平均耕地后备资源面积少,各乡镇实际增产潜力十分有限,区域内各乡镇耕地后备资源集中连片程度居各组合之末,分布零散,不利于政府集中投入人力及物力进行大规模组织开垦,其耕地后备资源开发潜力最差。但该组合涉及的乡镇较多,耕地后备资源总面积较大,

占规划范围内耕地后备资源的 57.07%,总增产潜力占 52.55%,总规模所占比例大,总体上具备开发为耕地的条件,可作为后期开发对象。开发过程中应重点调控,加强农田基本设施建设,提高新增耕地的生产能力,同时,应加强对生态环境的保护,建设防风林、水土保持林等生态防护工程。

从各组合区域的空间分布格局来看,各类开发组合分布基本上体现了空间上的近邻关系,但由于西藏自治区并不是所有乡镇都存在耕地后备资源,使得具有耕地后备资源乡镇在空间上存在没有相邻乡镇的现象,在创建泰森多边形时,增大了边缘区域的邻域范围,使聚类组合结果存在不连续的现象,对聚类效果具有一定影响。

4 结 论

(1)以西藏特殊的自然、地理和生态环境的为 基础,从自然适宜性和社会适宜性 2 个方面构建适宜性评价体系,将西藏自治区耕地后备资源开发适

宜性分为最适宜、中等适宜和勉强适宜,分别占全区耕地后备资源总面积的 27.98%、49.09%、22.93%。

(2)基于适宜性评价,考虑各乡镇耕地后备资源总体质量情况、空间分布情况及经济增产效益等方面综合情况,构建各乡镇耕地后备资源综合适宜性、集中连片、开发增产潜力 3 个指数的计算模型,并将这 3 个指数作为聚类变量进行空间聚类。

(3)采用基于图论的聚类方法,将 Delaunay 三角剖分算法与 SKATER 算法相结合,综合考虑属性间的相似性与地域空间的近邻关系,有利于提高开发规模效益。以乡镇级行政区为聚类单元,将耕地后备资源划分为 3 个组合,分别为近期重点开发、中期适度开发及后期开发区域,确定了西藏自治区耕地后备资源开发组合序列。该模型在总体上保持了区块间的近邻关系及行政区的完整性,能够为地方政府耕地后备资源开发区划提供借鉴思路,同时为发挥农业规模效益提供科学依据。

参 考 文 献

1 姜广辉,张凤荣,赵华甫,等.关于促进北京市耕地占补平衡实现的探讨[J].城市问题,2006,132(4):64-68.
JIANG Guanghui, ZHANG Fengrong, ZHAO Huapu, et al. Discussion on promoting the realization of the balance of cultivated land in Beijing City [J]. Urban Problems, 2006, 132(4): 64-68. (in Chinese)

2 宋伟,陈百明,史文娇,等.2007 年中国耕地资源安全评价[J].地理科学进展,2011,30(11):1449-1455.
SONG Wei, CHEN Baiming, SHI Wenjiao, et al. Evaluation for cultivated land resources security of China in 2007 [J]. Progress in Geography, 2011, 30(11): 1449-1455. (in Chinese)

3 关小克,张凤荣,李乐,等.北京市耕地后备资源开发适宜性评价[J].农业工程学报,2010,26(12):304-310.
GUAN Xiaoke, ZHANG Fengrong, LI Le, et al. Suitability evaluation of reserve resources of cultivated land development in Beijing [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(12): 304-310. (in Chinese)

4 张甘霖,吴运金,赵玉国.基于 SOTER 的中国耕地后备资源自然质量适宜性评价[J].农业工程学报,2010,26(4):1-8.
ZHANG Ganlin, WU Yunjin, ZHAO Yuguo. Physical suitability evaluation of reserve resources of cultivated land in China based on SOTER [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(4): 1-8. (in Chinese)

5 金贵,王占岐,胡学东,等.基于模糊证据权模型的青藏高原区土地适宜性评价[J].农业工程学报,2013,29(18):241-250.
JIN Gui, WANG Zhanqi, HU Xuedong, et al. Land suitability evaluation in Qinghai-Tibet Plateau based on fuzzy weight of evidence model [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(18): 241-250. (in Chinese)

6 王筱明,闫弘文,卞正富.基于适宜性的济南市宜耕未利用地开发潜力评估[J].农业工程学报,2010,26(2):307-312.
WANG Xiaoming, YAN Hongwen, BIAN Zhengfu. Exploitation potential of unutilized land suitable for cultivated land based on its suitability in Jinan City [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 307-312. (in Chinese)

7 侯学平.广东省耕地后备资源开发利用潜力分析[J].广东土地科学,2004,3(3):27-31.
HOU Xueping. An analysis on potentiality of exploiting reserved cultivated land resources in Guangdong Province [J]. Guangdong Land Science, 2004, 3(3): 27-31. (in Chinese)

8 袁磊,赵俊三,李红波,等.云南山区宜耕未利用地开发适宜性评价与潜力分区[J].农业工程学报,2013,29(16):229-237.
YUAN Lei, ZHAO Junsan, LI Hongbo, et al. Exploitation suitability evaluation and potential area zoning for arable unused land in mountainous areas of Yunnan Province [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(16): 229-237. (in Chinese)

9 严长清,袁林旺,李满春.江苏省耕地后备资源的空间分异及开发时序模型研究[J].地理与地理信息科学,2005,21(2):58-61,73.
YAN Changqing, YUAN Linwang, LI Manchun. Study on space differential of reserving cultivatable land resources in Jiangsu Province and the model of exploiting priority scheduling [J]. Geography and Geo-information Science, 2005, 21(2): 58-61, 73. (in Chinese)

10 黄海霞,胡月明.基于两维图论聚类法的耕地后备资源开发组合分析——以阳山县为例[J].经济地理,2013,33(4):139-143.
HUANG Haixia, HU Yueming. Reserving cultivatable land resources exploitation combination based on two-dimensional graph theory clustering method in Yangshan County [J]. Economic Geography, 2013, 33(4): 139-143. (in Chinese)

11 王亚坤,周生路,张红富,等.江苏省域耕地后备资源潜力空间分布与开发组合研究[J].土壤,2010,42(3):492-496.

WANG Yakun,ZHOU Shenglu,ZHANG Hongfu,et al. Spatial distribution and exploitation combination of potentiality of cultivated land reserve resources in Jiangsu Province [J]. Soils,2010,42(3):492-496. (in Chinese)

12 ASSUNÇÃO R M, NEVES M C, CÂMARA G, et al. Efficient regionalization techniques for socio-economic geographical units using minimum spanning trees[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2006, 20(7):797-811.

13 LIU X, WANG S, ZHOU Y, et al. Regionalization and spatiotemporal variation of drought in China based on standardized precipitation evapotranspiration index (1961-2013)[J]. Advances in Meteorology, 2015, 2015:1-18.

14 FREITAS M W D D, SANTOS J R D, ALVES D S. Land-use and land-cover change processes in the Upper Uruguay Basin: linking environmental and socioeconomic variables[J]. Landscape Ecology, 2013, 28(2):311-327.

15 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 CSAE, 2014,30(1):200-210. (in Chinese)

16 邓劲松,王珂,沈掌泉,等. 桐乡市乡镇耕地整理对耕地景观格局的影响及其分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3):79-82. DENG Jinsong,WANG Ke, SHEN Zhangquan, et al. Impact of farm land consolidation on farm land landscape: a case study in Tongxiang County [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(3):79-82. (in Chinese)

17 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,2004,18(5):37-43. ZHANG Zhengfeng, CHEN Baiming, GUO Zhansheng. Indicator system for evaluation arable land consolidation potential [J]. China Land Sciences,2004,18(5):37-43. (in Chinese)

18 蔡海生,林建平,朱德海. 基于耕地质量评价的鄱阳湖区耕地整理规划[J]. 农业工程学报,2007,23(5):75-80. CAI Haisheng, LIN Jianping, ZHU Dehai. Cultivated land consolidation planning based on quality evaluation of cultivated land in Poyang Lake region [J]. Transactions of the CSAE,2007,23(5):75-80. (in Chinese)

19 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. LI Geng,WU Cifang, CAO Shunai. Study on indicators system of selecting cultivated land into prime farmland [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2006(8):46-48. (in Chinese)

20 谢花林,李秀彬,陈瑜琦. 土地利用规划环境影响的生态安全评价方法初探[J]. 资源科学, 2010,32(1):57-63. XIE Hualin, LI Xiubin, CHEN Yuqi. Environmental impacts of land use planning based on an ecological security method in Ongniud Banner, Inner Mongolia [J]. Resources Science, 2010,32(1):57-63. (in Chinese)

21 谢红丹,查良松. 安徽省耕地资源开发优势度变化分析[J]. 中国农学通报,2008,24(7):450-453. XIE Hongdan, ZHA Liangsong. An analysis on the changes of development dominance ratio of cultivated land resources in Anhui Province [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008,24(7):450-453. (in Chinese)

22 郑海霞,封志明. 甘肃省农业资源开发优势度分析[J]. 地理研究,2007,26(5):1013-1020. ZHENG Haixia, FENG Zhiming. The analysis on development dominance ratio of agricultural resources in Gansu Province [J]. Geographical Research,2007,26(5):1013-1020. (in Chinese)

23 何锋,王力,孙保敬,等. 改进耕地资源优势度模型在半湿润区的应用——以陕西省长武县为例[J]. 干旱地区农业研究, 2011,29(3):213-220. HE Feng,WANG Li,SUN Baojing,et al. Application of improved development dominance ratio model of cultivated land resources in sub-humid areas—a case study of Changwu County [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2011, 29(3):213-220. (in Chinese)

24 BEKTI R D, RACHMAWATI R. Spatial cluster for clustering the influence factor of birth and death child in Bogor Regency, West Java[C]// American Institute of Physics Conference Series, 2014,1589:468-471.

25 王开军,李健,张军英,等. 聚类分析中类数估计方法的实验比较[J]. 计算机工程, 2008, 34(9):198-199. WANG Kaijun, LI Jian, ZHANG Junying,et al. Experimental comparison of clusters number estimation for cluster analysis [J]. Computer Engineering, 2008, 34(9):198-199. (in Chinese)