

引文格式: 李世捷, 陈 晋, 揭 娜, 等. 基于GlobeLand30的中国耕地占补平衡评价方法研究[J]. 地理信息世界, 2022, 29(5): 75-81.

基于GlobeLand30的中国耕地占补平衡评价方法研究

A New Evaluation Method of Requisition-compensation Balance of Farmland in China Based on GlobeLand30

李世捷¹, 陈 晋^{1,2}, 揭 娜¹, 李 强¹, 曹 鑫¹

基金项目: 科技基础资源调查专项

(2019FY202502)

作者简介: 李世捷(1999—), 男, 辽宁抚顺人, 地图制图学与地理信息工程专业硕士研究生, 主要研究方向为土地覆盖制图与分析

E-mail: shijieli@mail.bnu.edu.cn

通信作者: 曹鑫(1980—), 男, 四川南充人, 副教授, 博士, 主要从事城市遥感和生态遥感研究工作

E-mail: caoxin@bnu.edu.cn

收稿日期: 2022-08-06

审 图 号: GS(2016)1598号

1. 北京师范大学 地理科学学部, 北京 100875;

2. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京100875

LI Shijie¹, CHEN Jin^{1,2}, JIE Na¹, LI Qiang¹, CAO Xin¹

1. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

【摘要】为加强耕地保护,我国提出耕地占补平衡政策。本文基于占补耕地统计分布直方图,研究一套多指标耕地占补平衡评估方法,采用GlobeLand 30的最新两期数据,在空间格局、自然条件、区位条件3方面建立评价体系,在省级尺度评价我国近10年耕地数量和质量的占补平衡关系。结果表明:我国在数量上基本实现了耕地占补平衡,耕地面积总体呈现东南减小、西北增加的空间格局;我国在质量上较好地实现了耕地占补平衡,25个省的耕地质量提升,但存在耕地坡度增大、面积破碎化等问题。

【关键词】GlobeLand30; 耕地; 占补平衡; 质量与数量评价; 直方图分布

【中图分类号】P2; X37

【文献标识码】A

【文章编号】1672-1586(2022)05-0075-07

Abstract: To protect farmland better, China has proposed the requisition-compensation balance of farmland policy. Based on the statistical distribution histogram of requisitioned and compensatory farmland, we propose a new evaluation method of farmland requisition-compensation balance, using multiple indicators. In terms of pattern, natural conditions, and location factors, farmland of the last ten years has been evaluated in quantity and quality, based on the latest two periods of GlobeLand30. The results show that: The amount of farmland has basically achieved the goal of requisition-compensation balance. Farmland reduced in southeast China and increased in northwest China; The quality of farmland has achieved the goal of requisition-compensation balance well. Farmland quality improves in 25 provincial-level regions. However, some problems also exist, including increased slope and fragmented patches.

Key words: GlobeLand30; farmland; requisition-compensation balance; quality and quantity of farmland; histogram distribution

0 引 言

维护粮食安全是我国可持续发展的基石,耕地的数量和质量是约束粮食生产的关键因素^[1-2],然而,伴随着我国经济高速发展和大规模城市化,大量耕地被占用^[3-6],对粮食生产产生巨大的不利影响^[4,7]。为加强耕地保护,我国于1997年印发《关于进一步加强土地管理切实保护耕地的通知》,首次提出了耕地总量动态平衡的要求,逐渐形成了耕地占补平衡政策。该政策要求补充耕地的数量高于占用耕地、质量优于占用耕地,

且符合可持续发展原则^[8]。

自占补平衡政策提出以来,关于我国耕地数量和质量变化的讨论持续不断。在数量上,对占补耕地面积的准确测定影响占补平衡政策的实施效果的评价。《中国环境统计年鉴》和《国土资源公报》发布的统计文件提供了各省、市、县的耕地面积,《1:50万全国农用地分等汇总数据库》提供了农用地的等级,这些数据被广泛应用于分析我国耕地的数量及质量变化。然而,这些统计数据往往存在统计标准不一致、空间分辨率有限、可靠性和精度较差、更新较慢等问题。随着遥感数据的

日益丰富,学者们开始尝试使用遥感手段监测耕地数量及其变化,如提出监测耕地数量和制图的新方法^[9-10];对比较多期遥感数据,分析耕地的数量变化及其空间格局^[11-13]。相较于传统的统计数据,这些研究使用的遥感数据具有易于获取、客观性强、空间分辨率高等优势,能够准确、便捷地描述耕地数量及其变化。但这些研究大多关注耕地数量的整体差异,而较少对占用耕地和补充耕地单独进行对比分析。

占补平衡还需关注耕地质量的平衡,即选取不同的指标对占补耕地质量进行评价。在我国粮食安全和地方经济发展的双重目标约束下,地方政府在数量上努力实现占补平衡,但在质量上却往往难以保障,量化占补耕地的质量变化成为占补平衡政策实施的关键。目前,耕地质量的概念不断发展,但尚未形成统一的标准^[14],主要从自然环境特征、社会经济特征、空间格局3个视角量化耕地质量。自然环境方面,耕地质量与土壤质量、地形、可利用水资源等因素密切相关^[15-17]。社会经济方面,可以从区位条件、基础设施、管理水平等因素考虑^[18]。对自然环境和社会经济的评价,可以是直接的,如采用气候、地形、土壤数据刻画耕地的自然条件,也可以是间接的,如用耕地灌溉的便捷性间接刻画耕地的利用水资源的条件^[19],或根据耕地与道路、农村聚落点的距离,刻画耕地耕作的便利程度^[20-21]。耕地的空间格局变化也开始受到关注^[22-25],尤其是耕地破碎化等景观指标的使用^[26-27]。虽然,既有研究已建立相对全面的耕地质量评价指标体系,但在这些指标的可获取性、计算复杂性和与评价方法整合方面仍然有较大不足,导致现有研究多局限于区域性案例,而较少在大区域上实施。

针对上述问题,本文提出了一套占用耕地和补充耕地直方图分布的占补平衡综合评价方法。根据最新两期GlobeLand30数据,在省级尺度分别提取占用耕地和补充耕地,进一步从空间格局、自然条件、区位条件3方面构建耕地质量指标体系,分析占补耕地的质量相似性及差异性。最后,利用新方法分析近10年各省耕地数量和质量的占补平衡变化情况,并对新方法的优势和可改进的部分进行讨论。

1 数据和方法

1.1 数据来源

GlobeLand30 (<http://globeland30.org/>) 是我国自然资源统一调查监测技术体系构建

研制的全球地表覆盖数据,分辨率为30 m,在分析耕地问题上具有高分辨率和高精度优势^[28-29]。GlobeLand30数据包含2014年发布的2000版(V2000)和2010版(V2010),以及2017年开始制作并已发布的2020版(V2020)。本文采用的V2010和V2020总体精度分别为83.50%和85.72%,Kappa系数分别为0.78和0.82^[29]。基于V2010和V2020两期GlobeLand30数据,分别提取了耕地、水体、人造地表等相关图层。高程数据采用ALOS数据,其分辨率为12.5 m,主要用于坡度计算。NDVI数据使用结合Landsat和MODIS数据重建的30 m时间序列数据^[30]。本文以中国大陆省级行政单元为评价单元,未包含港澳台地区。

1.2 基于统计分布直方图的多指标评估方法

占补平衡政策由某一级别行政机构(省、地区、县)具体实施,因此,评价对象包含行政机构管辖范围内所有占用耕地和补充耕地。考虑到占用耕地常常是集中连片占用,而补充耕地却是零散分布的现状,现有评价方法一般采用分别计算占用耕地和补充耕地的指标均值或累积值进行总体效果评价,如分别计算占用耕地和补充耕地的总面积进行数量的平衡。这种方法虽避免了一对一的评价不可操作性,但忽略了占用耕地和补充耕地中各地块的统计分布特征,如样本的方差和直方图分布。更为重要的是现有评估主要侧重于占补耕地的数量平衡,而在很大程度上忽略了占补耕地的质量平衡。一方面是由于部分行政机构考虑区域经济发展利益和后备土地质量较差的现状而有意为之;另一方面也是由于耕地质量评价较为复杂,评价方法和指标体系尚不健全,且受到数据可获取性限制。

综合考虑现有评价方法的缺陷,本文发展了一套基于占补耕地统计分布直方图的多指标耕地占补平衡评估方法。该方法首先建立评估指标体系,指标体系不仅考虑数量,同时从多个方面考虑占补耕地地块质量;然后,分别提取占用耕地和补充耕地,绘制占补耕地各质量指标的统计分布直方图,基于直方图重叠程度量化占补耕地的质量相似性,结合指标含义为占补耕地的质量差异赋分;最后,通过雷达图进行质量指标的综合评价。耕地质量平衡评价方法的具体流程如图1所示。

1.2.1 占补耕地数量平衡评价

占用耕地(Requisitioned Farmland, RF)被定义为V2010为耕地且V2020为非耕地的地块,补充耕

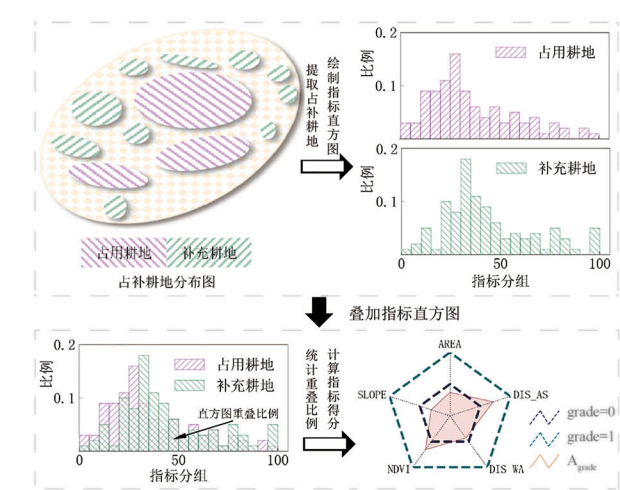


图1 基于直方图分布的耕地质量占补平衡评估流程
Fig.1 A farmland quality assessment flowchart of farmland requisition-compensation balance

地 (Compensatory Farmland, CF) 被定义为 V2010 为非耕地且 V2020 为耕地的地块。在某一行政尺度, 计算耕地面积净变化, 公式如下:

$$\Delta Area = Area_{CF} - Area_{RF} \tag{1}$$

式中, $Area_{CF}$ 和 $Area_{RF}$ 分别为补充耕地和占用耕地的总面积。为反映耕地面积的相对增减情况, 引入耕地面积净变化率 (NCR), 表示为:

$$NCR = \frac{\Delta Area}{Area_{2010}} \times 100\% \tag{2}$$

式中, $Area_{2010}$ 为 2010 年的耕地总面积。

1.2.2 占补耕地质量平衡评价

从空间格局、自然条件、区位条件 3 方面, 选取 5 个指标构建耕地质量指标体系和直方图分级标准 (表 1)。

表 1 占补耕地质量评价指标体系
Tab.1 Metrics for farmland quality evaluation

类别	指标	计算方法	直方图分级标准
空间格局	地块面积 (AREA, m ²)	耕地地块的面积	取对数, 分级间隔为 1
自然条件	坡度 (SLOPE, degree)	耕地地块平均坡度	分级间隔为 1
	归一化植被指数 (NDVI)	耕地地块内的像元 NDVI 平均值 (这里选用年最大值)	分级间隔为 0.05
区位条件	与水体距离 (DIS_WA, m)	耕地地块质心到水体的最近距离	分级间隔为 100
	与人造地表距离 (DIS_AS, m)	耕地地块质心到人造地表的最近距离	分级间隔为 1 000

耕地的空间格局是评价耕地质量的重要指标, 集中连片的耕地更适合大规模机械化耕作和智能化管控。因

此, 选择景观生态学中的斑块面积指标, 表征耕地的破碎化程度。自然条件方面, 选取坡度和 NDVI 两项指标。地块坡度不仅直接影响耕地的保水、保肥功能, 也和机械化耕作适宜性相关。NDVI 反映了地块的植被生产力水平。一般而言, NDVI 值越高, 其地上生物量产出越高, NDVI 值的高低是地块土壤肥力、气候适宜性和耕作管理措施的综合反映。区位条件方面, 考虑到水源是灌溉的重要基础, 选择与水体的最近距离, 反映获取水源的便捷性。此外, 还选择与农村聚落点 (人造地表) 的最近距离, 反映技术与交通的可达性水平, 侧面也反映机械化耕作的便利程度。

1) 提取占补耕地。结合 V2010 和 V2020 两期 GlobeLand30 数据, 分别提取占用耕地和补充耕地地块。结合各评价指标, 分别绘制占补耕地的各质量指标地块统计分布直方图, 直方图的横轴为指标的数量分级, 纵轴为该指标数量分级内的地块占比。

2) 量化占补耕地差异性。在同一个直方图坐标系内, 叠加占用耕地和补充耕地的直方图, 用直方图重叠比例表示占补耕地数据分布的相似性, (1- 重叠比例) 表示占补耕地的分布差异性, 计算公式为:

$$A_{difference} = 1 - \sum_{i=1}^n \min\{PRO_{RFi}, PRO_{CFi}\} \tag{3}$$

式中, n 为直方图分组数; PRO_{RFi} 和 PRO_{CFi} 分别为占补耕地在第 i 个分组内的地块所占比例; $A_{difference}$ 表示某一指标的耕地占补差异性。当直方图完全重叠时, $A_{difference} = 0$, 表示完全的占补平衡, $A_{difference}$ 指标越大, 表示占补越不平衡。

1.2.3 区域内占补耕地平衡的总体评价

对于指标 A, 分别计算占补耕地的均值, 用二值化符号表示指标 A 的优劣变化趋势 (A_{trend}), 规则为:

$$A_{trend} = \begin{cases} 1, & \overline{A_{CF}} > \overline{A_{RF}} \\ -1, & \overline{A_{RF}} > \overline{A_{CF}} \end{cases} \tag{4}$$

式中, $\overline{A_{RF}}$ 和 $\overline{A_{CF}}$ 分别为占补耕地指标 A 的平均值, 当补充耕地均值大于占用耕地均值 A_{trend} 取值为 1, 反之为 -1。考虑到指标取值与耕地质量关系包括正向或负向作用, 将指标分为正向指标和负向指标。正向指标包含 NDVI、斑块面积等, 数值越大, 耕地质量越好。负向指标包含与水体距离、与人造地表距离、坡度等, 数值越大, 耕地质量越差。因此, 结合指标性质和优劣变化趋势,

指标 A 的评分 (A_{grade}) 计算如下:

$$A_{grade} = \begin{cases} A_{trend} \times A_{difference}, & A \text{ 为正向指标} \\ (-1) \times A_{trend} \times A_{difference}, & A \text{ 为负向指标} \end{cases} \quad (5)$$

式中, A_{grade} 指标取值范围为 $[-1, +1]$, 当取值为零时, 表示完全的占补耕地平衡; 当取值为正时, 表示补充耕地的数量质量变好, 反之, 补充耕地的质量变差。综合各评价指标的评分 A_{grade} 绘制成雷达图, 计算各指标所围成的面积即可表示区域内耕地占补平衡的总体成效。

2 结果

2.1 占补耕地的数量平衡

2010—2017 年, 我国耕地面积净变化率为 -1.6% , 耕地数量略有下降, 基本实现了耕地数量的占补平衡。各省耕地的占补情况差异较大, 空间上, 耕地面积呈现西北增加、东南减少的格局 (图 2)。黑龙江、贵州、宁夏等 7 个省的耕地面积净变化率与零相近 ($NCR < 2\%$), 较好地实现占补平衡; 湖北、吉林、广西等 10 个省的耕地面积净变化率处于基本占补平衡水平 ($-5\% < NCR < -2\%$), 但耕地面积有所减少; 西藏、新疆、青海、内蒙古、海南等 5 个省耕地面积净增超过 5% , 省内耕地面积有所增加; 北京、上海、浙江等 9 个省份的耕地面积净减少超过 5% , 补充的耕地面积明显低于占用面积。

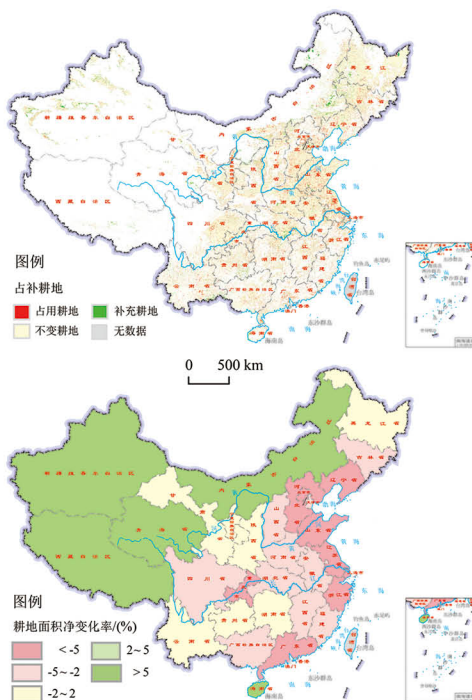


图 2 耕地面积变化
Fig.2 Change of farmland quantity

图 3 给出了各省占用耕地的去向和补充耕地的来源。在全国尺度上, 人造地表、林地、草地是占用耕地的主要去向, 分别解释了 44.9% 、 25.6% 、 20.0% 的耕地损失; 草地和林地是补充耕地的主要来源, 分别解释了 43.9% 和 30.4% 的耕地增加。多数省份的耕地主要因城市建设被占用, 少数省份的耕地主要用于退耕还林还草。几乎所有省份耕地的主要来源为林地和草地, 少数省份耕地的主要来源为人造地表、水体或裸地。大部分省份的耕地变化, 进入了“占用耕地发展城市—消耗林地和草地开发耕地—继续占用耕地建设城市”的循环。

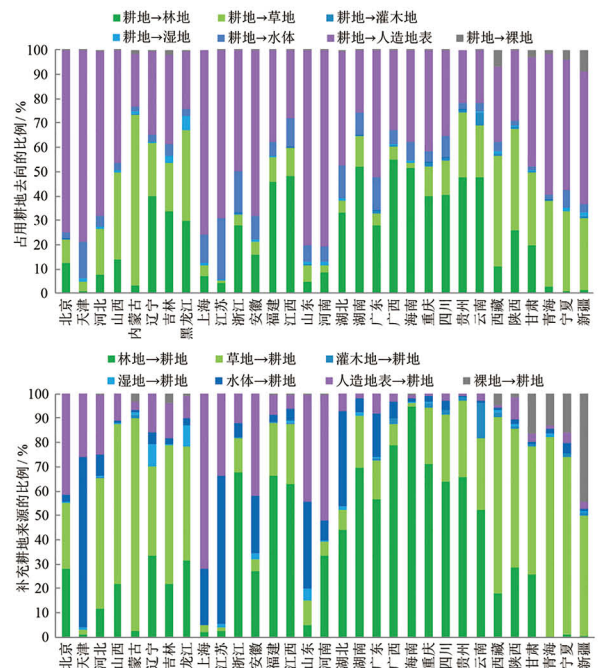


图 3 各省占用耕地的去向和补充耕地的来源
Fig.3 Destinations of requisitioned farmland and sources of compensatory farmland for each provincial-level region

2.2 占补耕地的质量差异

图 4 汇总了各项质量指标的各省得分和全国平均水平。在空间格局方面, 我国补充耕地和占用耕地的斑块面积分布相似, 总体上有微弱的破碎化趋势。尽管一些省份补充或占用了大面积的连片耕地斑块 (图 2), 但各省占补耕地就斑块面积而言相似程度高, 得分均趋近于 0。空间上, 补充耕地更加集中连片分布的省份主要位于西部地区 (青海、新疆、西藏等 9 个省); 补充耕地更破碎分散的省份多位于东部地区。

自然条件方面, 补充耕地坡度有变大趋势, 其中浙江、福建、重庆、四川、江西等东南和西南多山省份的耕地坡度增加显著, 补充耕地存在严重的质量问题。这些地区补充耕地坡度增加将可能导致更加严重的水土流

失, 且不利于大规模机械化耕作, 属于占优补劣。整体而言, 绝大部分省市补充耕地的 NDVI 有上升趋势, 其中, 重庆、浙江、上海、内蒙古、福建等的 NDVI 增加显著, 但江苏、吉林、北京、山东的 NDVI 有所降低。对于 NDVI 增加显著的省份, 一方面可能与当地政府积极加强补充耕地的地力培育和管理有关, 也可能是最近 10 年来农业技术进步和气候较为适宜所带来的综合结果; 而 NDVI 降低的省份则是补充耕地质量显著低于占用耕地的直接结果。

区位条件方面, 与水体距离和与人造地表距离有着不同的表现。总体而言, 水资源条件变化不大, 21 个省份的得分位于区间 $[-0.05, 0.05]$ 之内, 海南、宁夏、上海等地的水资源条件略微变好, 而天津、北京、西藏等地的水资源条件略微变差。补充耕地与人造地表整体距离变小, 不同省份的变化程度不同。相较于东部地区, 宁夏、西藏、重庆等西北、西南地区的得分更高, 补充耕地的可达性和耕作便利程度有更明显的提升。

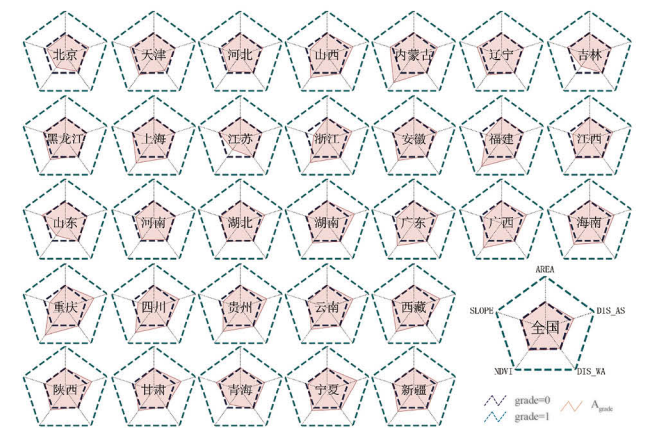


图 4 基于直方图分布的耕地占补平衡评价结果
Fig.4 Evaluation results of farmland requisition-compensation balance

2.3 省级尺度的综合评价

计算图 4 中的各省和全国的雷达图面积, 作为占补平衡总体评价分数 (图 5)。考虑占补耕地的质量完全一致的理想情况, 计算理想情况下的雷达图面积, 作为耕地质量占补平衡基准线 (图 5 中黄色竖线)。评价分数高于基准线代表耕地质量变优, 反之则变差。总体上, 我国较好地实现了耕地质量占补平衡。25 个省的耕地质量增加, 其中, 内蒙古、宁夏、重庆的耕地质量涨幅最大, 而 6 个省没有达到耕地占补平衡的质量要求, 北京、江苏、吉林、河南、山东、河北的补充耕地质量下降最严重。

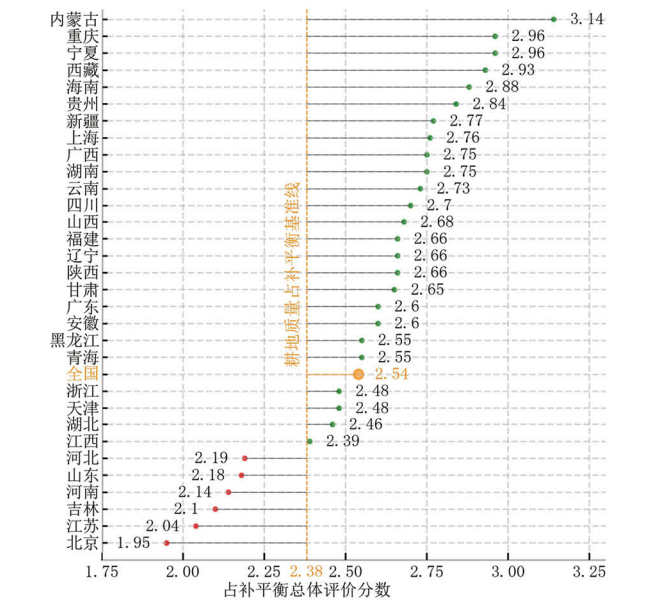


图 5 耕地质量占补平衡政策的总体评价
Fig.5 Overall evaluation of farmland requisition-compensation balance for farmland quality

3 讨论

已有研究对于 2010 年以后全国范围的耕地占补平衡评价较少, 本文利用最新 GlobeLand30 数据, 具有空间覆盖范围全面、研究年份新等特点, 可以为综合分析各区域耕地指标的占补关系和开展占补指标交易提供支持。本文建立了一套基于地块直方图分布的占补耕地质量评价方法, 指标选择灵活, 评价方法简单, 具有较强的可操作性, 是对现有耕地占补平衡评价方法的有益补充。然而, 受限于所使用遥感数据的特点、评价指标选择及分级指标的不完善性, 新方法仍然具有较大的提高空间。

1) GlobeLand30 数据空间分辨率为 30 m, 并且经过了一定的制图综合, 造成小斑块耕地提取精度严重不足, 这是导致耕地破碎化程度评价具有较大不确定性的主要原因。另外, 基于遥感数据的地表覆盖分类依然不可避免地存在错分漏分现象。随着遥感数据时空分辨率的提升和基于深度学习的制图方法的逐步完善, 遥感提取耕地的分类方法日益丰富, 精度也稳步提高, 已经实现对水田等二级耕地类型的识别, 并可以提取具体的作物类型^[31-33]。未来可以考虑使用基于高分数据的国土“二调”和“三调”数据, 实现更精细、准确的耕地占补平衡评价。

2) 本文从空间格局、自然条件、区位条件 3 方面建立质量评价指标体系, 这些指标均已在相关研究中有

所使用,但并不全面。如选取的NDVI并不能完全反映土壤肥力,建议结合土壤“三普”,使用更客观可靠的土壤有机质数据;丰富的指标体系更利于全面系统的评价,未来应继续结合耕地质量评价的最新成果,进一步完善指标体系的构建。

3) 本文构建直方图的指标分级标准虽然参考了相关研究,但由于缺乏相应的国家或行业标准,分级标准仍然具有一定主观性,后果将可能导致在计算占补耕地直方图重叠比例时,使用不同的分级方式导致不同的评价结果。如分级的间距较大,可能难以观测占补耕地直方图的差异,甚至可能导致占补耕地直方图完全一致的情况;而分级的间距过小,不仅会降低计算效率,还会导致不合理地低估数据分布的相似性。为了消除本方法的主观性,提高科学性,有必要参考已有规范,尽早形成一套统一的分级标准,用于全国耕地质量的标准化评价。

4 结 论

本文提出了一套基于占补耕地统计分布直方图的多指标耕地占补平衡评估方法,采用GlobeLand30的V2010和V2020两期数据,在空间格局、自然条件、区位条件3方面建立评价体系,在省级尺度评价我国近10年耕地数量和质量的占补平衡关系。主要结论如下。

1) 我国耕地数量基本实现占补平衡。各省耕地面积变化差异大,总体呈现东南减小和西北增加的格局。草地和林地是补充耕地的主要来源,人造地表、林地、草地是占用耕地的主要去向。

2) 我国耕地具有微弱的破碎化趋势,东部地区的破碎化程度相较西部更严重。补充耕地的坡度有变大趋势,但土壤生产力也有所提高。耕地的水资源条件变化不大,但与人造地表整体距离变小,可达性和耕作便利程度在西部地区有明显的提升。

3) 总体上,我国较好地实现了耕地质量占补平衡。25个省的补充耕地质量提升,但北京、江苏、吉林、河南、山东、河北等6个省没有达到耕地占补平衡的质量要求。

参考文献

- [1] SONG W, PIJANOWSKI B C. The Effects of China's Cultivated Land Balance Program on Potential Land Productivity at a National Scale[J/OL]. *Applied Geography*, 2014, 46: 158-170.
- [2] 聂英. 中国粮食安全的耕地贡献分析[J]. *经济学家*, 2015, 193(1): 83-93.
- [3] DING C R. Policy and Praxis of Land Acquisition in China[J/OL]. *Land Use Policy*, 2007, 24(1): 1-13.
- [4] 刘洛, 徐新良, 刘纪远, 等. 1990—2010年中国耕地变化对粮食生产潜力的影响[J]. *地理学报*, 2014, 69(12): 1767-1778.
- [5] LIU Y S, FANG F, LI Y H. Key Issues of Land Use in China and Implications for Policy Making[J/OL]. *Land Use Policy*, 2014, 40: 6-12.
- [6] HUANG Z H, DU X J, CASTILLO C S Z. How Does Urbanization Affect Farmland Protection? Evidence from China[J/OL]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 145: 139-147.
- [7] SONG W, LIU M L. Farmland Conversion Decreases Regional and National Land Quality in China[J/OL]. *Land Degradation & Development*, 2017, 28(2): 459-471.
- [8] 蒋瑜, 濮励杰, 朱明, 等. 中国耕地占补平衡研究进展与述评[J]. *资源科学*, 2019, 41(12): 2342-2355.
- [9] QIAO Y L, MA B Z, FENG J L. Study on Monitoring Farmland by Using Remote Sensing and GIS in Shanxi China[J/OL]. *Advances in Space Research*, 2000, 26(7): 1059-1064.
- [10] FROLKING S, QIU J J, BOLES S, et al. Combining Remote Sensing and Ground Census Data to Develop New Maps of the Distribution of Rice Agriculture in China[J/OL]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2002, 16(4): 38-1-38-10.
- [11] LIU J Y, LIU M L, DENG X Z, et al. The Land Use and Land Cover Change Database and Its Relative Studies in China[J/OL]. *Journal of Geographical Sciences*, 2002, 12(3): 275-282.
- [12] 赵晓丽, 张增祥, 汪潇, 等. 中国近30a耕地变化时空特征及其主要原因分析[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(3): 1-11.
- [13] 许丽丽, 李宝林, 袁焯城, 等. 2000—2010年中国耕地变化与耕地占补平衡政策效果分析[J]. *资源科学*, 2015, 37(8): 1543-1551.
- [14] DU G M, LIU Y S, YU F R, et al. Evolution of Concepts of Cultivated Land Quality and Recognition[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(14): 243-249.
- [15] 沈仁芳, 陈美军, 孔祥斌, 等. 耕地质量的概念和评价与管理对策[J]. *土壤学报*, 2012, 49(6): 1210-1217.
- [16] LIU Y S, ZHANG Y Y, GUO L Y. Towards Realistic Assessment of Cultivated Land Quality in An Ecologically Fragile Environment: A Satellite Imagery-Based Approach[J/OL]. *Applied Geography*, 2010, 30(2): 271-281.
- [17] 陈印军, 肖碧林, 方琳娜, 等. 中国耕地质量状况分

- 析[J]. 中国农业科学, 2011, 44 (17): 3557-3564.
- [18] MA J H, WU K N, ZHAO H F, et al. Construction of Cultivated Land Quality Monitoring Indicators of China[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39 (21): 74-78.
- [19] ZHOU K, LI J Y, WANG Q. Evaluation on Agricultural Production Space and Layout Optimization Based on Resources and Environmental Carrying Capacity: A Case Study of Fujian Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41 (2): 280-289.
- [20] FENG T, ZHANG F R, LI C, et al. Spatial Distribution of Prime Farmland Based on Cultivated Land Quality Comprehensive Evaluation at County Scale[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30 (1): 200-210.
- [21] LEE J, OH Y G, YOO S H, et al. Vulnerability Assessment of Rural Aging Community for Abandoned Farmlands in South Korea[J/OL]. Land Use Policy, 2021, 108: 105544.
- [22] SU S L, HU Y N, LUO F H, et al. Farmland Fragmentation Due to Anthropogenic Activity in Rapidly Developing Region[J/OL]. Agricultural Systems, 2014, 131: 87-93.
- [23] CHENG L, XIA N, JIANG P H, et al. Analysis of Farmland Fragmentation in China Modernization Demonstration Zone Since “Reform and Openness”: A Case Study of South Jiangsu Province[J/OL]. Scientific Reports, 2015, 5 (1): 11797.
- [24] YU Q Y, HU Q, VAN VLIET J, et al. Globeland30 Shows Little Cropland Area Loss But Greater Fragmentation in China[J/OL]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2018, 66: 37-45.
- [25] LIU L, LIU Z J, GONG J Z, et al. Quantifying the Amount, Heterogeneity, and Pattern of Farmland: Implications for China's Requisition-Compensation Balance of Farmland Policy[J/OL]. Land Use Policy, 2019, 81: 256-266.
- [26] WAN G H, CHENG E J. Effects of Land Fragmentation and Returns to Scale in the Chinese Farming Sector[J/OL]. Applied Economics, 2001, 33 (2): 183-194.
- [27] MITCHELL M G E, SUAREZ-CASTRO A F, MARTINEZ-HARMS M, et al. Reframing Landscape Fragmentation's Effects on Ecosystem Services[J/OL]. Trends in Ecology & Evolution, 2015, 30 (4): 190-198.
- [28] CHEN J, CHEN J, LIAO A P, et al. Global Land Cover Mapping at 30m Resolution: A POK-Based Operational Approach[J/OL]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, 103: 7-27.
- [29] 曹鑫, 陈学泓, 张委伟, 等. 全球30 m空间分辨率耕地遥感制图研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2016, 46 (11): 1426-1435.
- [30] CHEN Y, CAO R Y, CHEN J, et al. A Practical Approach to Reconstruct High-quality Landsat NDVI Time-series Data by Gap Filling and the Savitzky-Golay Filter[J/OL]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2021, 180: 174-190.
- [31] DONG Q, CHEN X H, CHEN J, et al. Mapping Winter Wheat in North China Using Sentinel 2A/B Data: A Method Based on Phenology-Time Weighted Dynamic Time Warping[J/OL]. Remote Sensing, 2020, 12 (8): 1274.
- [32] GAN L Q, CAO X, CHEN X H, et al. Comparison of MODIS-based Vegetation Indices and Methods for Winter Wheat Green-up Date Detection in Huanghuai Region of China[J/OL]. Agricultural and Forest Meteorology, 2020, 288-289: 108019.
- [33] ZANG Y Z, CHEN X H, CHEN J, et al. Remote Sensing Index for Mapping Canola Flowers Using MODIS Data[J/OL]. Remote Sensing, 2020, 12 (23): 3912.