

耕地利用脆弱性评价及时空特征分析

——以昆明市东川区为例

易 维

云南财经大学财政与公共管理学院, 云南 昆明

收稿日期: 2023年7月26日; 录用日期: 2023年8月15日; 发布日期: 2023年8月30日

摘 要

本文以东川区为典型区域, 对耕地利用脆弱性进行评估, 研究耕地利用脆弱性变化, 构建耕地利用脆弱性理论框架, 尝试从3个方面提出供需性脆弱、产出效益性脆弱和生态性脆弱分析指标, 以准确识别耕地脆弱性区域并为耕地合理利用与管理提供参考。该篇基于1990年, 2000年, 2010年和2018年土地数据, 采用层次分析法(AHP)和熵值法并结合GIS空间分析技术, 求出耕地脆弱性综合指数, 对研究区进行脆弱度划分的生态脆弱性评价。结果表明: 东川区耕地生态系统划分为五个脆弱区, 30年间, 耕地生态脆弱性经历了持续增大的变化过程, 在空间分布上呈现东高西低的格局, 从总体上看, 东川区铜都镇和拖布卡镇耕地脆弱性等级较高, 大部分主要是由于特殊的地理环境和人类频繁活动干扰的结果。

关键词

东川区, 耕地利用, 脆弱性

Study on Ecological Vulnerability Evaluation of Cultivated Land

—Taking Dongchuan District of Kunming as an Example

Wei Yi

School of Finance and public administration, Yunnan University of Finance and economics, Kunming
Yunnan

Received: Jul. 26th, 2023; accepted: Aug. 15th, 2023; published: Aug. 30th, 2023

*通讯作者。

Abstract

Taking Dongchuan District as a typical area, this paper evaluates the vulnerability of arable land use, studies the changes of the vulnerability of arable land use, tries to build a theoretical framework of the vulnerability of arable land use from three aspects, and puts forward the analysis indicators of supply and demand vulnerability, output benefit vulnerability and ecological vulnerability, so as to accurately identify the vulnerable areas of arable land and provide reference for the rational use and management of arable land. Based on the land data in 1990, 2000, 2010 and 2018, the comprehensive index of arable land vulnerability is obtained by using the analytic hierarchy process (AHP) and entropy method combined with GIS spatial analysis technology, and the ecological vulnerability assessment of vulnerability division is carried out in the study area. The results show that the cultivated land ecosystem in Dongchuan district is divided into five vulnerable areas. In the past 30 years, the ecological vulnerability of cultivated land has experienced a continuous increasing process, and the spatial distribution shows a pattern of high in the East and low in the West. In general, the vulnerability of cultivated land in Tongdu town and Tuobuka town in Dongchuan district is high, most of which is mainly due to the special geographical environment and the interference of frequent human activities.

Keywords

Dongchuan District, Cultivated Land Ecosystem, Vulnerability

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

耕地作为人类生存发展中最重要的生产资料,是人类赖以生存和发展的物质基础[1]。但是随着我国人口迅速增长,经济建设不断加快,出现了耕地数量减少,耕地质量退化,环境污染加剧,水土流失严重等一系列的问题,对我国的粮食安全构成了严重的威胁[2] [3]。耕地利用系统是以耕地资源为主体的自然生态系统和以人类活动为主体的社会经济系统在特定区域内通过协同和抵抗作用而形成的复合系统[4]。作为自然生态系统,气候条件、地形等自然因素对于耕地脆弱性的影响巨大;作为社会经济系统,由于不合理的开发利用,耕地污染以及城市化发展对于耕地资源的占用,对耕地系统的结构和功能造成了严重的破坏。在此背景下,对于耕地脆弱性的研究有利于加强耕地资源可持续利用,为实现耕地资源的合理有效利用提供一定的参考。

从现有的研究来看,国内外对耕地利用系统进行脆弱性的研究还比较少,对耕地脆弱性的实证分析居多,而理论研究较少,耕地脆弱性概念的界定、脆弱性评价指标体系的构建仍然存在着比较大的问题。国外学者[5] [6] [7] [8]比较关注极端气候、自然灾害以及农户投入对于农业生态环境脆弱性和粮食安全的影响。国内关于耕地脆弱性的研究主要有:分析国内外脆弱性研究的概念、评价方法和研究方向并进行了总结[9];对耕地脆弱性进行了测算并分析了空间分布规律[10] [11];有学者基于生态足迹模型、VSD模型、主成分分析法等分别分析了耕地利用系统暴露度、敏感性和适应力的变化,并对耕地脆弱性进行了预测[12] [13] [14]。本文以脆弱性的视角对耕地系统进行评价,构建了一个全新的分析框架,与以往研

究当中的 VSD 模型不同, 本文尝试从 3 个方面构建耕地利用脆弱性理论框架, 提出供需性脆弱指标、产出效益性脆弱指标和生态性脆弱指标, 以东川区为典型区域, 对耕地利用脆弱性进行评估, 研究耕地利用脆弱性变化, 以准确的识别耕地脆弱性区域并为耕地合理利用与管理提供参考。

2. 耕地系统脆弱性理论分析

2.1. 概念和内涵

目前脆弱性这一概念已被应用到很多研究领域关于生态脆弱性的研究, 不同应用领域间研究对象和学科视角的不同应用领域对“脆弱性”这一概念的界定角度和方式有很大差异, 1905 年, 美国学者 Clements 提出了生态过渡带的概念, 并将其引入到生态学的领域之中, 自此打开了生态脆弱性的研究大门[15], 耕地利用脆弱性是生态脆弱性下面的细小分支, 脆弱性这一概念最早起源于 20 世纪 60 年代自然灾害领域的研究[16], 20 世纪 70 年代以后, 全球气候变化、自然资源枯竭、生态环境恶化等问题不断出现, 脆弱性理论逐渐引入到生态系统、社会科学、人文科学与可持续发展领域[17]; 20 世纪 80 年代认为脆弱性是一种度或者能力, 认为脆弱性是一种风险或者灾害所造成的损害, 把风险、损失等与脆弱性相等同[18]。将脆弱性概念引入和应用到土地系统的研究中是近期才开始[19], 脆弱性的概念有多种, 例如联合国政府间气候变化专门委员会将脆弱性定义为“系统容易遭受和有没有能力对付气候影响的程度”; 粮农组织 (FAO) 给出的定义为“人们处于粮食不安或营养不良的各种风险, 包括影响其应对能力的各种因素”; 国际减灾战略 (ISDR) 认为脆弱性是由自然、社会、经济、环境等共同决定的增强社区面临灾害敏感性的因素[20]。迄今为止, 还没有比较明确和公认的定义, 目前针对土地脆弱性的研究, 主要集中在草地资源[21] [22]、水资源[23] [24] [25] 等土地利用类型脆弱性方面, 以及农牧业旱灾脆弱性[26] [27] 的评价, 较少有学者专门针对耕地系统脆弱性进行评价, 自然灾害、气候变化等自然科学领域认为脆弱性是系统由于灾害等不利影响而遭受损害的程度或可能性, 侧重研究单一扰动所产生的多重影响[16] [28] [29]; 有学者认为脆弱性是系统由于暴露于环境和社会变化带来的压力及扰动, 并且缺乏适应能力而导致的容易受到损害的一种状态, 其包含了“风险”、“敏感性”、“适应性”、“恢复力”等一系列相关概念, 既考虑了系统内部条件对系统脆弱性的影响, 也包含系统与外界环境的相互作用特征[30] [31]。这些共识概括起来主要包括: ① 脆弱性是一种客观属性; ② 脆弱性客体具有多样性; ③ 脆弱性与特定的扰动相关; ④ 脆弱客体内部存在不稳定性; ⑤ 脆弱客体状态受到了影响或改变; ⑥ 脆弱性可以进行衡量。

2.2. 理论框架

随着认识的深入, 脆弱性的内涵也在不断丰富和拓展, 目前广泛接受的脆弱性要素包括敏感性、暴露性、适应能力[32], 敏感性是系统对各种灾害干扰的敏感程度, 反映系统抵抗灾害干扰的能力, 主要取决于系统结构的稳定性[33]。暴露性与“风险”有关, 反映系统遭遇危害的程度, 取决于系统在灾害事件中暴露的概率, 决定了系统在灾害影响下的潜在损失大小; 适应能力是可以改变和调节的潜在状态参数, 包括系统本身的适应能力和人类适应两个层次[34], 决定了系统在灾害事件中受损失的实际大小。在前人研究的基础上, 本研究将耕地利用系统脆弱性定义为: 在一定时间和空间尺度内, 由于受到客观的自然因素和人类活动的干扰, 耕地的结构和功能受到了破坏, 使得耕地无法在保持自身状态的前提下, 为人类提供持续的产出和服务的一种属性。耕地利用系统脆弱性的内涵主要包括以下 5 个方面:

(1) 由于区域差异性的存在, 使得各个地区的耕地资源状况及其脆弱性有所不同, 所以耕地脆弱性是一个相对的概念; (2) 耕地脆弱性在时空上存在着动态变化的特征, 因此耕地脆弱性是一个动态的概念; (3) 耕地利用系统是自然生态系统和社会经济系统相互影响、相互作用形成的一个复合系统, 容易受到气

候、地形等自然因素和不合理开发利用、污染等人类活动的双重影响；(4) 耕地利用系统在外界的干扰下，容易受到损害(难以保持自身的状态)，外界的干扰超出了耕地利用系统的调节范围，就会逐步走向脆弱；(5) 从利用的角度来看，耕地脆弱性体现在不能为人类提供持续的产出与服务。

2.3. 评价体系构建

本研究在界定耕地脆弱性概念的基础上，构建全新的分析框架，在已有研究的基础上，根据东川区的自然、社会经济发展情况，最终构建了多要素多层次的指标体系。目标层为耕地利用系统脆弱性，准则层为供需性脆弱、产出效益性脆弱以及生态性脆弱。首先，耕地利用系统具有供给功能、生产功能和生态功能。耕地利用系统的供给功能：为人类劳动提供了最基本的生产资料，是粮食生产的基础；耕地利用系统的生产功能：在土壤肥力不足的情况下，人们对耕地进行化肥、农药以及农用机械等各项投入，以提高粮食产量，耕地产出的粮食保证了温饱。其次耕地利用系统的生态功能：耕地还兼有水土保持和环境治理的功能，耕地的过度开发和高强度利用容易造成水土流失、土壤养分降低和土壤板结等问题，过量使用化肥、农药和薄膜容易造成耕地的污染，在不超出耕地的自我调节能力的情况下，耕地利用系统可以通过自我调节保持原先的状态，持续的为人们提供产出与服务。因此，从耕地利用系统结构和功能出发，我们可以构建一个全新的分析框架，供需性脆弱反映了耕地数量的变化，产出效益和生态性脆弱则反映了耕地质量的变化，耕地数量和质量变化均为耕地脆弱性的外在表现形式。

(1) 供需性脆弱指标：反映人口增长和城镇化发展引起的耕地数量供需性脆弱。人口的增长加大了对粮食的需求，城镇化的发展加快了建设用地对于城市周边耕地的占用并加剧了耕地的脆弱性。故选择总人口、人口自然增长率、人均耕地、耕地面积、农作物播种面积、和土地垦殖率等指标来反映耕地利用系统的供需性脆弱。

(2) 产出效益性脆弱指标：反映城镇化进程中对农业劳动力的拉力作用引起的耕地利用劳动力投入减少，以及城镇化发展水平较低而导致投入到农业生产中的要素不足，形成的耕地产出效益性脆弱。故选择农业从业人员、农业机械投入指数、粮食单产、粮食总产量、人均粮食产量、农民人均纯收入等指标来反映耕地利用投入与产出的情况。

(3) 生态性脆弱指标：反映了城镇化发展导致耕地污染，耕地利用强度加大导致水土流失，是生态系统对人类活动反应的敏感程度，会导致耕地的生态功能遭到破坏，大量使用农药、化肥、地膜会导致耕地受到污染，影响环境状况和作物生长，故选择农药使用强度、化肥施用强度、农用塑料薄膜使用强度、工业废水排放达标率等指标来反映耕地生态脆弱性，使用量越多对耕地的污染威胁越大。

3. 研究区概况与数据来源

3.1. 研究区概况

东川区(E102°47'~E103°18', N25°57'~N26°32')位于昆明市最北端，地处云贵高原北部边缘，东邻会泽，南接寻甸，西连禄劝，北连巧家县并与四川省会东县隔金沙江相望，全区辖铜都镇、汤丹镇、拖布卡镇、因民镇、阿旺镇、乌龙镇、红土地镇和舍块乡，区政府所在地铜都镇。区域版图面积为 18663.4 km²，地形起伏较大，海拔高程线 622 米至 4340 米。区域内的土地利用类型主要以林地、草地和耕地为主，分别占总面积的 30%、52%和 13%。东川区地处低纬度高海拔地区，以亚热带季风气候为主，由于山脉河谷南北纵横(如图 1)，受海拔和气流影响，垂直气候十分明显。东川区 1958 年设地级市，1999 年初，因铜矿枯竭、矿务局破产成为新中国成立后首个因资源枯竭而被行政降级的资源型城市，并于 2009 年进入第二批国家资源枯竭型城市，是典型的山地资源型城市。

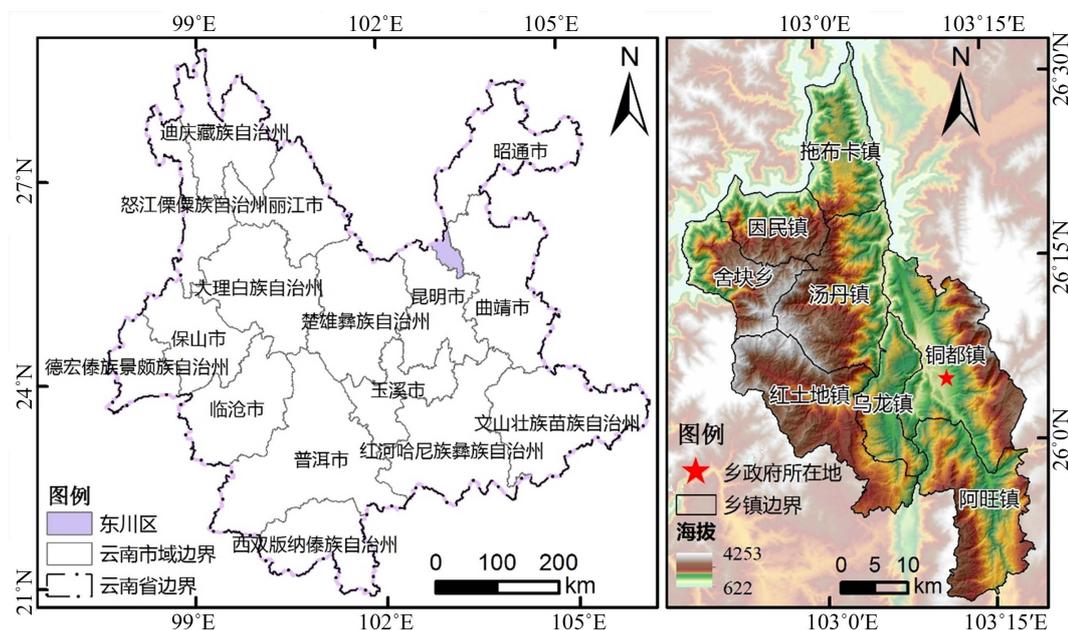


Figure 1. Overview of the study area

图 1. 研究区域概况

3.2. 数据来源及预处理

(1) 1990 年、2000 年、2010 年以及 2018 年东川区土地利用矢量数据均来源于中国科学院资源环境科学数据中心，从中获取地类数据。

(2) 东川区数字高程模型(DEM)数据来源于地理空间数据云，从中获取海拔、坡度数据。

(3) 东川区矢量数据：包括省道、县道、各级行政边界图，均来源于国家基础地理中心网站，利用 ArcGIS 缓冲区分析工具计算距离各主干道的距离。

(4) 社会经济数据来源于东川统计局 1989~2019 年统计年鉴和国民经济统计资料。

此外，由于研究期 1990~2019 年跨度太大，在这期间行政范围发生了变化，2006 年部分行政单元进行了合并，拖布卡乡和播卡乡合并为拖布卡镇，乌龙乡和阿旺乡升为乌龙镇和阿旺镇，因此本研究将 1990 年和 2000 年两期行政范围也进行了合并。

4. 研究方法

4.1. 指标体系的构建

综合评价指标体系是一套能够全面反映生态系统适应性、脆弱性等特征的指标集合[35]，在构建指标体系之前，选择合理的评价因子，参评因子的权重直接关系到最终获得评价结果的准确度[36]。当前，学术界普遍采用指标综合评价、功能质量评估 3 种方法评价耕地利用脆弱性。其中，指标综合评价法的关键在于指标选取和赋权。往往由于数据可获得性限制等，研究者不得不选用间接指标甚至是与功能联系并不紧密的指标。同时，指标权重赋予的准确性和合理性也难以验证；功能价值量评估的关键在于价值标准的确定。功能质量评估的关键在于，功能形成过程监测、参数获取及模型构建。往往由于耕地利用系统类型多样、结构复杂、人为扰动大、异质性强、监测成本高等，研究者不得不大大简化耕地利用系统的要素、结构和过程研究，导致功能物理量评估结果与现实相去甚远。由此，我们需要一种更为直接、客观、简洁、清晰的耕地利用脆弱性分析方法。

4.2. 评价指标权重的确定

熵是指无序性、紊乱性，应用熵值法确定评价指标权重，能够深刻反映出指标信息熵值的效用价值 [37]，其准确度相对较高。设综合评价模型中需要评价某年 m 地区的生态系统的适应性，评价指标体系包括 n 个指标，于是得到指标体系的初始数据矩阵为 [38]：

$$X = \{X_{ij}\} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n).$$

① 数据标准化

采用改进功效系数法对指标进行标准化，具体公式如下：

对于正向指标：

$$X'_{ij} = (x_{ij} - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) + 0.0001, \tag{1}$$

对于负向指标：

$$X'_{ij} = (x_{\max} - x_{ij}) / (x_{\max} - x_{\min}) + 0.0001, \tag{2}$$

定义其标准化值：

$$y_{ij} = X'_{ij} / \sum_{i=1}^m X'_{ij}, \tag{3}$$

由此得到数据的标准化矩阵： $Y = \{y_{ij}\}_{m \times n}$ 。

② 指标信息熵值 e 和信息效用值 d 。

根据熵的定义，第 j 项指标的信息熵值为

$$e_j = -K \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij}, \tag{4}$$

其中，常数 K 与系统样本数 m 有关。对于一个信息完全无序的系统，有序度为零，其熵值最大， $e = 1$ ， m 个样本处于完全无序分布状态时， $y_{ij} = 1/m$ ，此时， $K = 1/\ln m$ 。某项指标的信息效用值 d_j 取决于该指标的信息熵 e_j 与 1 之间的差值，即

$$d_j = 1 - e_j \tag{5}$$

③ 评价指标权重

第 j 项指标的权重为

$$w_j = d_j \sum_{j=1}^n d_j \tag{6}$$

根据层次分析法与熵值法得出的某地区生态系统耕地脆弱性评价指标体系的各层次权重(见表 1)。

Table 1. Indicator system for vulnerability assessment of cultivated land ecosystems

表 1. 耕地生态系统脆弱性评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标属性	权重
耕地系统脆弱性	供需性脆弱指标	X ₁ 总人口(人)	负	0.123
		X ₂ 人口自然增长率(‰)	负	0.044
		X ₃ 人均耕地(亩/人)	正	0.093
		X ₄ 耕地面积(亩)	正	0.029
		X ₅ 农作物播种面积(亩)	正	0.027
		X ₆ 土地垦殖率(%)	正	0.054

Continued

产出效益性脆弱指标	X ₇ 单位粮食产量(kg/亩)	正	0.029
	X ₈ 粮食总产量(吨)	正	0.069
	X ₉ 人均粮食产量(吨/人)	正	0.021
	X ₁₀ 农民人均纯收入(元)	正	0.089
	X ₁₁ 农业从业人员(人)	正	0.015
	X ₁₂ 农业机械投入指数(kw/hm ²)	正	0.026
生态性脆弱指标	X ₁₃ 复种指数(%)	正	0.042
	X ₁₄ 农药使用量(kg)	负	0.166
	X ₁₆ 农用塑料薄膜(t)	负	0.100
	X ₁₇ 化肥施用量(t)	负	0.073

4.3. 评价模型的构建

基于耕地利用脆弱性的概念,在前人研究的基础上[22],采用耕地利用脆弱性指数来量化区域的耕地利用脆弱性程度。将耕地利用脆弱性指数分级并且用耕地系统脆弱性综合指数(Vulnerability index of cultivated land system)表征区域土地系统脆弱性程度,该指数越大,表示耕地系统脆弱性程度越高。耕地系统脆弱性综合指数计算公式为[22]:

$$VI = \sum_{i=1}^n P_{ij} \times W_j \quad (7)$$

VI 为耕地系统脆弱性指数, W_j 为各评价指标的权重, P_{ij} 为各评价指标的标准化数值。评价结果主要耕地生态脆弱程度,分值越高,表示生态系统的脆弱性越高。

4.4. 脆弱性等级划分

目前有关耕地脆弱性评价还比较少,耕地脆弱性程度等级划分没有一个权威的划分标准,国内的研究大多都是借鉴了生态脆弱性评价的划分,或者是耕地安全评价、耕地健康诊断等研究的划分标准,评价结果主要反映生态脆弱程度,分值越高,生态脆弱性就越高[21]。为了使评价结果更直观,将耕地生态脆弱度指数从高到低划分为 5 级,各等级的划分标准和生态脆弱性特见表 2。借助 GIS 矢量数据空间分析技术[39],将各指标图层叠加得出东川区各乡镇耕地脆弱性的空间分布见图 6。

Table 2. Ecological vulnerability grading table of cultivated land

表 2. 耕地生态脆弱度分级表

脆弱度水平	脆弱度指数	耕地脆弱性特征
微度脆弱	0.31~0.56	耕地系统结构完整,运行状态健康,生态环境稳定,物质和能量流动顺畅,耕地投入产出效果较好。
轻度脆弱	0.56~0.83	耕地系统结构较为完整,运行状态良好,生态环境基本稳定,耕地受到轻微的干扰和破坏,但对耕地的生产活动影响很小。
中度脆弱	0.83~1.27	耕地系统结构受到损伤,生态环境变差,服务功能遭到破坏,灾害时有发生,耕地的生产活动受到干扰较大。
高度脆弱	1.27~2.20	耕地系统结构破坏较为严重,耕地退化、生态受损情况比较严重,灾害发生频繁,对于社会经济发展造成较大的影响。
极度脆弱	2.20~3.27	耕地系统结构遭到严重破坏,环境受到污染,灾害发生频次高,危害性大,生态系统恢复力弱。

Table 3. Basic situation of arable land vulnerability in townships and towns in Dongchuan District
表 3. 东川区各乡镇耕地脆弱性基本情况

	1990 年综合 指数	脆弱度	2000 年综合 指数	脆弱度	2010 年综合 指数	脆弱度	2018 年综合 指数	脆弱度
汤丹镇	0.42	微度	0.38	微度	0.97	中度	1.38	高度
阿旺镇	0.40	微度	1.26	中度	0.83	轻度	1.81	高度
红土地镇	0.45	微度	0.56	轻度	0.79	轻度	1.04	中度
因民镇	0.35	微度	0.36	微度	1.04	中度	1.20	中度
乌龙镇	0.31	微度	0.44	微度	0.95	中度	1.13	中度
舍块乡	0.41	微度	0.35	微度	1.03	中度	1.35	高度
铜都镇	0.71	轻度	1.09	中度	1.58	高度	2.30	极度
拖布卡镇	0.44	微度	0.45	微度	1.08	中度	3.27	极度

5. 结果与分析

5.1. 东川区耕地脆弱性的时序变化

西汉以来,东川成为全国著名的铜产地。从明清以来,由于大规模的伐薪烧炭炼铜,森林植被大面积被毁,土地荒漠化和砂石化严重,加之东川地处小江深大断裂带,新构造运动强烈,境内河谷深切,高山对峙,耕地生态环境非常脆弱。300年前,东川森林绿地覆盖率达70%,到1959年绿地覆盖率为30%,1985年绿地覆盖率为13.3%,致使生态环境恶化,水土流失严重,泥石流灾害频繁。本文根据耕地生态系统建立指标体系,运用层次分析法和熵值法对其求出权重,并根据评价模型的构建求出耕地脆弱度综合指数,最后将耕地利用脆弱性指数分级并且用耕地系统脆弱性综合指数。东川区各乡镇耕地脆弱性基本情况如表3,各乡镇在1990年、2000年、2010年和2018年耕地生态脆弱性指数变化如图2,东川区耕地生态系统脆弱度空间分布如图6。可以看出,30年间东川区大部分耕地属于轻度、微度、中度脆弱区。1990年,东川区耕地生态脆弱性指数排序为:铜都镇 > 红土地镇 > 拖布卡镇 > 汤丹镇 > 舍块乡 > 阿旺镇 > 因民镇 > 乌龙镇,其中铜都镇为轻度脆弱区,其余乡镇属于微度脆弱区范围;2000年,东川区耕地生态脆弱性指数排序为:阿旺镇 > 铜都镇 > 红土地镇 > 拖布卡镇 > 乌龙镇 > 汤丹镇 > 因民镇 > 舍块乡,其中阿旺镇和铜都镇属于中度脆弱区范围内,红土地镇属于轻度脆弱区,其余五个乡镇属于微度脆弱区;2010年,东川区耕地生态脆弱性指数排序为:铜都镇 > 拖布卡镇 > 因民镇 > 舍块乡 > 汤丹镇 > 乌龙镇 > 阿旺镇 > 红土地镇,其中铜都镇从1990年脆弱性持续上升变为高度脆弱区,拖布卡镇、因民镇、舍块乡、汤丹镇和乌龙镇均为中度脆弱区,阿旺镇和红土地镇为轻度脆弱区;2018年,东川区耕地生态脆弱性指数排序为:拖布卡镇 > 铜都镇 > 阿旺镇 > 汤丹镇 > 舍块乡 > 因民镇 > 乌龙镇 > 红土地镇,其中拖布卡镇和铜都镇已经变为极度脆弱区,阿旺镇、汤丹镇和舍块乡在高度脆弱区范围,因民镇、乌龙镇和红土地镇在中度脆弱区范围内。1990年~2018年东川区耕地生态脆弱性指数中拖布卡镇变化最大,其次为铜都镇,其余6镇也均有不同程度的变化。

为了进一步分析东川区耕地脆弱性,对主要指标层其中几个因素进行30年以来的动态变化趋势绘制(图3~5)。从图3可以看出。1989~2019年期间,东川区人口数量总体呈上升趋势,其中一部分时间段呈现下降的趋势,但是幅度不大,在下一年又继续增长,人口数量的变化对耕地脆弱度会产生一定的影响,人数增多的基础上粮食产量就要持续上升才能维持人口用粮的基本要求,人口持续上升对于耕地稳定性来说是一种外部干扰因素,会打破耕地敏感程度反映系统对外部干扰的反应速度,主要取决于生态系统自然本底条件的稳定性,当面临稳定性受到影响时,就需要考虑耕地本身条件的适应能力,对某些严重

性事件的反应速度、应对能力和恢复能力，这也取决于地区自身的经济发展水平和管理水平。从图 4 东川区 30 年间耕地面积变化图来看，从 1989 年至 2000 年，耕地面积是基于平稳，没有太大的变化，直到 2000 年后到 2015 年开始小幅度下降，2016 年耕地面积急剧上升直至平稳，在 2016 年前后东川区政府对土地利用进行总体规划，面对当时严峻的土地利用形势，及时调整耕地保有量、基本农田保护面积和建设用地规模，维护规划的严肃性和可操作性，并且增强规划的科学性和有效性，直到东川区耕地总面积大约达到 32403.40 公顷，其中铜都街道 7469.62 公顷、汤丹镇 3745.54 公顷、拖布卡镇 3933.17 公顷、因民镇 952.52 公顷、阿旺镇 6000.63 公顷、乌龙镇 3557.47 公顷、红土地镇 5689.07 公顷和舍块乡 1055.38 公顷，耕地合理利用和规划不仅可以让土地资源可持续发展，而且带动当地经济和效益。结合图 5 和图 6 东川区耕地生态系统脆弱度空间分布图来看，农药使用量对耕地脆弱性会产生一定的不利影响，虽然农药会让农作物得到一定良好生长，但是农药的不合理利用会让耕地敏感程度上升，对耕地复种产生消极影响。

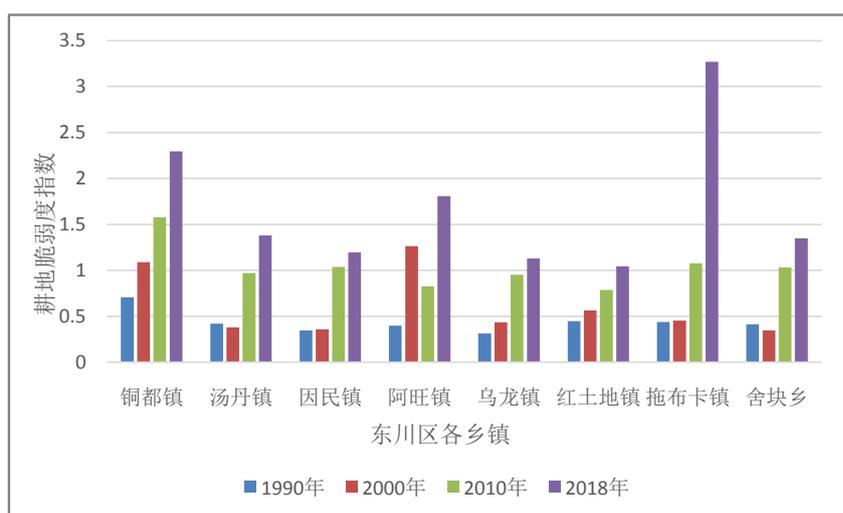


Figure 2. Changes of cultivated land ecological vulnerability index in 1990, 2000, 2010 and 2018 in each township in Dongchuan District

图 2. 东川区各乡镇 1990 年、2000 年、2010 年和 2018 年耕地生态脆弱性指数变化

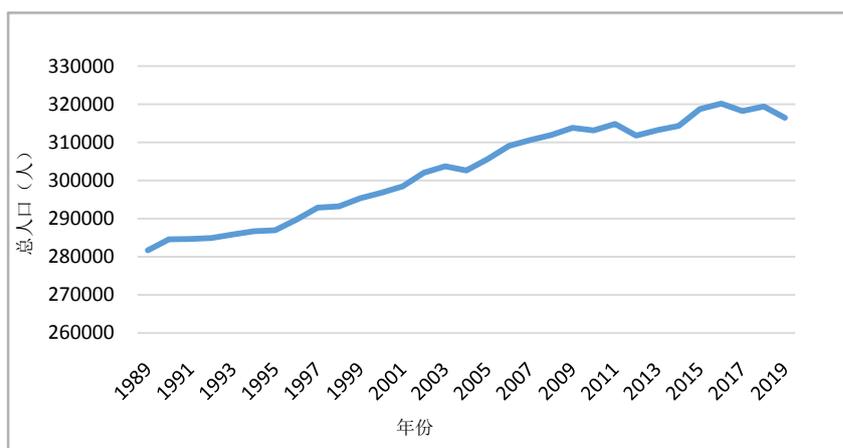


Figure 3. Changes in total population of Dongchuan District over the past 30 years

图 3. 东川区 30 年间总人口数变化

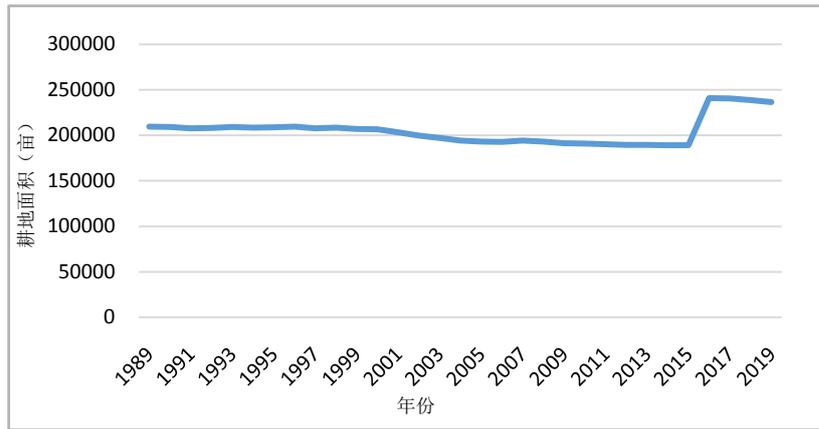


Figure 4. Changes in cultivated land area in Dongchuan District over the past 30 years
图 4. 东川区 30 年间耕地面积变化

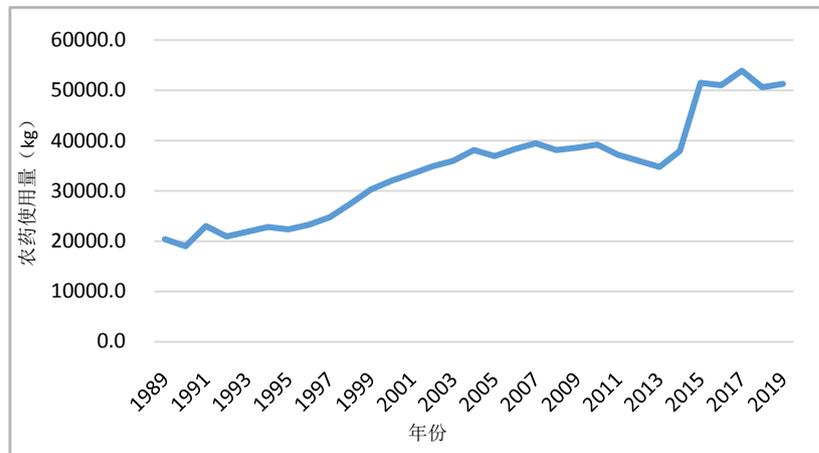


Figure 5. Changes in pesticide use in Dongchuan District over 30 years
图 5. 东川区 30 年间农药使用量变化

5.2. 东川区耕地脆弱性的空间分布

从图 6 东川区耕地生态系统脆弱度空间分布图来看, 1990 年代, 东川区各乡镇耕地主要属于微、轻度脆弱区; 2000 年主要为中度脆弱、轻度脆弱和微脆弱区; 2010 年主要以中度脆弱和轻度脆弱区为主, 并且其中一个乡镇发展成了高度脆弱区; 2018 年以中高度脆弱区为主, 还有部分极度脆弱区。可以看出大概 30 年间东川区耕地生态脆弱度经历了整体持续增长的变化, 东川区八个乡镇中变化最为显著是拖布卡镇和铜都镇, 到了 2018 年变为极度脆弱区, 可以说明随着时间的变化, 这两个镇在期间存在不合理利用耕地情况或者会因为人口的相对集中、频繁的社会经济活动、乱砍乱伐、不合理开挖、陡坡垦殖的人类活动、城镇及交通基础设施的建设等破坏了耕地利用形态、也会因为自然因素的影响, 东川处于小江断裂带的核心地区, 地震泥石流等自然灾害多发, 造成地质结构和地貌有关的环境脆弱性, 也造成耕地质量的严重下降, 降低了耕地生态系统的抗干扰能力与自我修复能力, 对耕地生态系统的脆弱性产生了非常明显的负向作用, 铜都镇是东川区区政府所在地, 所以社会经济活动的影响也在其中。拖布卡镇在 1990 年至 2000 期间都为微度脆弱区, 从 2010 年开始就变化迅速到 2018 年就成为极度脆弱区, 这不禁让我们思考, 在一开始的两段时间区间内, 该乡镇一直保持较低的脆弱度, 但经过时间的推移脆弱度幅

度上升过快,从生态性脆弱指标中可以看出农药使用量、农用塑料薄膜、化肥施用量折纯量、化肥施用量和工业废水排放达标率在不断上升,反映了城镇化发展导致耕地污染,耕地利用强度加大导致水土流失,耕地的生态功能遭到破坏。从东川区耕地生态系统脆弱度空间分布图中看出红土地镇从微度脆弱区变化到30年后的中度脆弱区,相比其他乡镇红土地镇的耕地脆弱性没有特别严重,红土地镇地处乌蒙山山系,境内山高谷深,地势陡峻,红土丘陵一望无际,红土地镇经济结构较单一,农民增收的难度较大,政府部门采取措施带动红土地旅游的发展,坚持“因地制宜”发展思路,借助自身优势发展旅游行业,所以对耕地土地采取合理发展措施,进行科学化有效性保护。

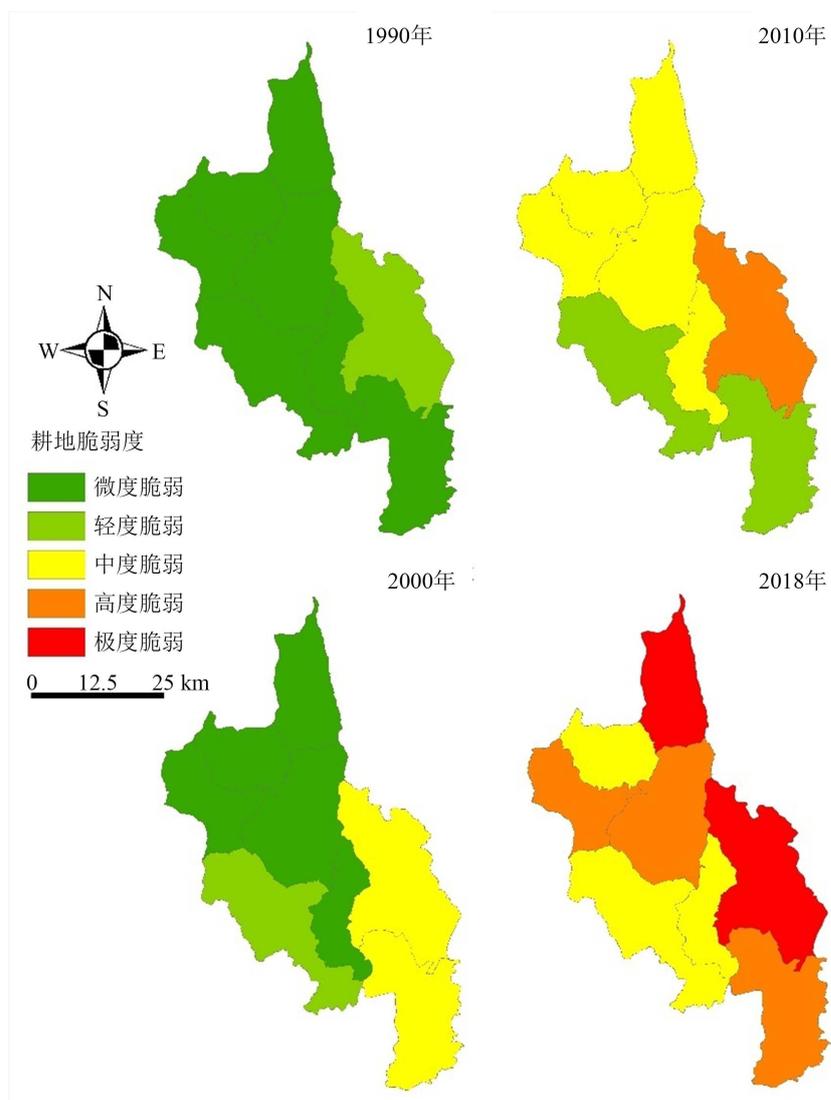


Figure 6. Spatial distribution of arable land ecosystem fragility in Dongchuan District
图 6. 东川区耕地生态系统脆弱度空间分布图

6. 结论与展望

6.1. 结论

本文以昆明市东川区为研究对象,在界定耕地脆弱性概念的基础上,构建全新的分析框架,根据东

川区的自然、社会经济发展情况,构建了多要素多层次的指标体系,目标层为耕地利用系统脆弱性,准则层为供需性脆弱、产出效益性脆弱以及生态性脆弱,建立指标体系并且求出权重和耕地脆弱度,为东川区八个乡镇进行划分脆弱度等级,最后分析其结果为后期耕地脆弱性研究提供参考,为促进耕地生态修复提供依据。随着昆明新建设规划的深入,规划期间东川区经济增长速度加快,因此建设用地需求会较高,未来人口、耕地、及建设用地之间的矛盾会愈加尖锐,土地耕地方面也会随着社会经济的增长而大幅度开发和利用,并且为保持粮食安全计,耕地面积也会大幅度上升,这些原因都会导致耕地脆弱性越来越大,会从微度脆弱度向极度脆弱区的快速转变,让土地受损敏感程度过高,使复种率大大降低,所以加强耕地保护力度是最基本的措施。近期昆明市下达东川区耕地保有量指标大约为 30200 公顷,规划期内,东川区继续落实最严格的耕地保护制度,进一步强化对耕地的保护和管理,推进耕地保护由单纯数量保护向数量、质量和生态全面管护转变,并建立耕地保护责任考核制度,采取有效措施进行生态修复,控制耕地脆弱度的改变。在规划实施期间,对东川区各乡镇经济动力发展起到了积极的引导作用,城镇空间整合优化得到明显的推进,生态环境显著改善,在一定程度上缓解了土地供需矛盾,保障了城市建设的用地需求,为区域内节约集约用地和土地可持续利用提供了保障。随着云南省退耕还林还草方案的实施以及东川区中心城镇的规划实施、东川区工业园区的建设以及重大交通基础设施等一系列项目的建设,东川区现行规划确定的耕地及基本农田保护面积、布局将对东川区经济社会的正常发展产生一定影响,坚持“因地制宜”发展思路,大力发展旅游经济带,带动社会发展,对生态系统进行保护,退耕还林,使系统的恢复力不断增加,走可持续发展道路。

6.2. 展望

(一) 经研究东川区内耕地脆弱度整体表现出有西向东增大的趋势又加之东川区政府在最东边,可以大体表明生态环境脆弱性不仅会受地质和地形两大自然要素的制约,还会随着经济发展而改变脆弱性,同时也受到人类活动的影响,耕地自身对外来影响适应能力弱,对外界变化的响应程度高,敏感性强,所以在受到不同种类的外界因素影响时就会产生不同的反应,并且由于脆弱性概念的模糊性和系统信息的不完全,使得在定量研究中缺乏适宜的表征方法,评价过程的主观性和随意性较大,耕地系统脆弱性的产生是一个非常复杂的过程,具有时间上的动态性、空间上的分异性以及地块差异性的特征,在人为压力和扰动条件下,脆弱因子的驱动变化、作用原理和显现条件如何现今尚不是很清晰,考虑到种种因素的制约和耕地生态系统的复杂性,未来在指标选取及其相关性上还应做进一步研究。

(二) 本文构建了东川区耕地生态脆弱性评价模型,并结合综合评价指数给耕地脆弱性分级划分标准,将研究区域划分出 5 个生态脆弱性等级,即微度脆弱区、轻度脆弱区、中度脆弱区、高度脆弱区和极度脆弱区。由于数据获取的局限性,选取的供需性脆弱、产出效益性脆弱以及生态性脆弱指标体系不够深入和全面,有可能会影响最终评价结果的精度,难免使结果客观性受到影响,在今后对东川区耕地脆弱性的研究中,应进一步深入生态脆弱性成因机制的探讨,并且在选取指标和获取数据时应考虑对结果是否有不明显变化等影响。

参考文献

- [1] 施开放,刁承泰,孙秀锋,左太安. 基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究[J]. 生态学报, 2013, 33(6): 1872-1880.
- [2] 祖健,郝晋珉,陈丽,等. 耕地数量、质量、生态三位一体保护内涵及路径探析[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(7): 84-95.
- [3] 蒋梦凡. 东川区耕地利用多功能权衡与协同关系及其驱动因素研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南财经大学, 2022.

- [4] 陈藜藜, 宋戈, 邹朝晖. 基于免疫机理的黑龙江省耕地系统安全预警研究[J]. 中国土地科学, 2017, 31(5): 79-88.
- [5] Wilhelmi, O.V. and Wilhite, D.A. (2002) Assessing Vulnerability to Agricultural Drought: A Nebraska Case Study. *Natural Hazards*, **25**, 37-58. <https://doi.org/10.1023/A:1013388814894>
- [6] Olayide, O.E. and Alabi, T. (2018) Between Rainfall and Food Poverty: Assessing Vulnerability to Climate Change in an Agricultural Economy. *Journal of Cleaner Production*, **198**, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.221>
- [7] Fraser, E.D.G. and Stringer, L.C. (2009) Explaining Agricultural Collapse: Macro-Forces, Micro-Crises and the Emergence of Land Use Vulnerability in Southern Romania. *Global Environmental Change*, **19**, 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.11.001>
- [8] Jamir, C., Sharma, N., Sengupta, A. and Ravindranath, N.H. (2013) Farmers' Vulnerability to Climate Variability in Dimapur District of Nagaland, India. *Regional Environmental Change*, **13**, 153-154. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0324-3>
- [9] 王乃举. 脆弱性研究进展及发展趋势[J]. 广西师范学院学报(自然科学版), 2015, 32(3): 81-86.
- [10] 曹文亚, 潘洪义, 巫泽倩, 黄佩. 基于生态足迹模型的耕地脆弱性分布差异研究——以德阳市为例[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2020, 43(3): 393-402.
- [11] 杨庆媛, 毕国华, 陈展图, 等. 喀斯特生态脆弱区休耕地的空间配置研究——以贵州省晴隆县为例[J]. 地理学报, 2018, 73(11): 2250-2266.
- [12] 姜玉龙. 三门峡市耕地系统脆弱性评价及影响因素分析[D]: [硕士学位论文]. 开封: 河南大学, 2019.
- [13] 龚新梅, 马媛, 桂东伟, 等. 干旱区典型流域天然草地生态脆弱性评价研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2007, 34(2): 216-220.
- [14] 钟晓娟, 孙保平, 赵岩, 等. 基于主成分分析的云南省生态脆弱性评价[J]. 生态环境学报, 2011, 20(1): 109-113.
- [15] 牛文元. 生态环境脆弱带 ECOTONE 的基础判定[J]. 生态学报, 1989, 9(2): 97-105.
- [16] 李鹤, 张平宇, 程叶青. 脆弱性的概念及其评价方法[J]. 地理科学进展, 2008, 27(2): 18-25.
- [17] 杨飞, 马超, 方华军. 脆弱性研究进展: 从理论研究到综合实践[J]. 生态学报, 2019, 39(2): 441-453.
- [18] 李莉, 王晓婷, 王辉. 脆弱性内涵、评价与研究趋势综述[J]. 中国渔业经济, 2010, 28(3): 161-169.
- [19] 黄河清, 甄霖, 闫惠敏. 土地系统的脆弱性及其恢复力建设[J]. 中国科学院院刊, 2009, 24(6): 649-654.
- [20] 赵源, 黄成敏, 温军会. 土地系统脆弱性研究进展和展望[J]. 中国农业资源与区划, 2013, 34(5): 121-127.
- [21] 郭宾, 周忠发, 苏维词, 等. 基于格网 GIS 的喀斯特山区草地生态脆弱性评价[J]. 水土保持通报, 2014, 34(2): 204-207.
- [22] 靳毅, 蒙吉军, 黄姣. 近 50 年来毛乌素沙地草地生态脆弱性评价——以内蒙古乌审旗为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2011, 47(5): 909-915.
- [23] 于水, 陈迪桃, 黄法融, 李兰海. 中亚农业水资源脆弱性空间格局及分区研究[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(4): 11-20.
- [24] 陈岩, 冯亚中. 基于 RS-SVR 模型的流域水资源脆弱性评价与预测研究——以黄河流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(1): 137-149.
- [25] 赵丹. 黑龙江省农业水土资源系统脆弱性测度及种植结构调控优化[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2022.
- [26] 金菊良, 张浩宇, 陈梦璐, 等. 基于灰色关联度和联系数耦合的农业旱灾脆弱性评价和诊断研究[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 1-7.
- [27] 郝璐, 王静爱, 张化. 内蒙古草地畜牧业系统旱灾风险评价模型[J]. 应用基础与工程科学学报, 2008, 16(3): 414-424.
- [28] 陈尧, 蒋文伟, 陈闪, 王旭东. 基于 RS 和 GIS 城镇生态脆弱性评价研究——以慈溪市龙山镇为例[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6): 242-249.
- [29] 袁靖. 云南省城镇化进程中耕地利用系统脆弱性评价[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南财经大学, 2019.
- [30] 曹文亚. 基于生态足迹的德阳市耕地脆弱性研究[J]. 四川林业科技, 2018, 39(4): 69-72.
- [31] 杨诗琴. 可持续发展视角下的云南省乡村脆弱性时空演化研究[D]: [博士学位论文]. 昆明: 云南财经大学, 2023.
- [32] 田亚平, 向清成, 王鹏. 区域人地耦合系统脆弱性及其评价指标体系[J]. 地理研究, 2013, 32(1): 55-63.
- [33] 乔青, 高吉喜, 王维, 等. 生态脆弱性综合评价方法与应用[J]. 环境科学研究, 2008, 21(5): 117-123.

- [34] 徐广才, 康慕谊, 贺丽娜, 等. 生态脆弱性及其研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2578-2588.
- [35] 赵瑞. 沙漠修复植物生态适应性评价及系统研发[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
- [36] 张南, 王华春, 万佳. 基于 ArcGIS 的喀斯特山区土地适应性评价——以鸭池镇为例[J]. 河南科技, 2014(20): 175-176.
- [37] 郭锐利, 郑钦玉, 刘娟. 基于熵值法和 GM(1,1)模型的重庆城市生态系统健康评价[J]. 中国环境科学, 2012, 32(6): 148-152.
- [38] 王晶, 沙景华, 周进生, 柯文岚. 霍邱矿业经济区产业生态系统适应性评价研究[J]. 资源与产业, 2014, 16(3): 87-94.
- [39] 赵银军, 卢远. 土地适应性评价 GIS 空间建模研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(7): 4229-4230+4248.