

引用格式: 孟丽君, 黄灿, 陈鑫, 等. 曲周县耕地利用系统韧性评价[J]. 资源科学, 2019, 41(10): 1949–1958. [Meng L J, Huang C, Chen X, et al. Evaluation of cultivated land system resilience of Quzhou County[J]. Resources Science, 2019, 41(10): 1949–1958.] DOI: 10.18402/resci.2019.10.16

曲周县耕地利用系统韧性评价

孟丽君^{1,2}, 黄 灿³, 陈 鑫^{1,2}, 江 丽^{1,2}, 张国梁^{1,2}, 郝晋珉^{1,2}, 安萍莉^{1,2}

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 自然资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193; 3. 桂林市自然资源局, 桂林 541199)

摘 要: 耕地韧性评价是耕地资源管理的有效方式, 对于保障耕地可持续利用与粮食安全具有重要意义。本文提出了耕地利用系统韧性的概念, 基于表象韧性与潜在韧性两个层面, 从稳定增长能力、高效利用能力、抵抗干扰能力、资源支撑能力 4 个方面建立了耕地利用系统韧性评价指标体系, 并选取河北省曲周县进行实证分析, 对曲周县 1973—2014 年的耕地利用进行阶段划分, 并对不同阶段耕地利用系统韧性进行评价。结果表明: ①曲周县耕地利用依据耕地利用技术与耕地产出水平可划分为 3 个阶段: 改土治碱阶段(1973—1985 年), 稳定发展阶段(1986—2002 年), 高效提升阶段(2003—2014 年)。②高效提升阶段的表象韧性明显高于前两个阶段, 其耕地单产水平最高, 达到 12746.33 kg/hm², 粮食生产波动指数较小为 8%, 水热资源利用指数为 1.58, 抗逆指数为 0.97。技术进步是促使耕地利用系统表象韧性提升的主要原因。③高效提升阶段的潜在韧性最低, 其水资源平衡指数仅为 -0.36, 区域水资源失去平衡, 亟需对灌溉技术与灌溉利用方式进行改善, 增强耕地利用系统韧性。应提高耕地系统的韧性, 不断增强耕地对外界干扰的适应能力, 从而满足当前耕地资源“数量、质量、生态”三位一体的管理需求。

关键词: 耕地利用系统; 耕地利用阶段; 表象韧性; 潜在韧性; 河北省曲周县

DOI: 10.18402/resci.2019.10.16

1 引言

对于人多地少的中国, 耕地的可持续利用一直是中国农业发展与社会稳定的重大战略问题, 也是实现社会经济与环境和谐发展的必然途径^[1]。然而, 耕地作为复杂的自然-人工系统, 自形成以来便持续遭受外界的各种冲击扰动, 大部分耕地系统面临着许多限制因素, 生产环境较为恶劣^[2], 粮食生产波动性大^[3], 抵御自然灾害能力低下, 旱涝等极端灾害都会对耕地系统产生很大影响^[4], 在这种背景下提升耕地系统的韧性是实现耕地可持续利用的关键。

近年来, 学者们主要从耕地质量^[5]、耕地健康^[6]、耕地安全^[7]、耕地预警^[8,9]等方面研究如何实现耕地的可持续利用, 研究成果颇丰, 但上述研究多从一种静态视角研究耕地质量差异, 且多为空间上的评

价, 忽略了耕地系统在不断演化中所表现出与原自然系统完全不同的抗击能力。一般来说, 在耕地利用的初期, 由于对自然的认识不足, 农业技术水平有限, 耕地利用较为粗放, 表现为耕地抵抗冲击能力较差, 产量低而不稳。随着人类参与程度的不断提高, 耕地生产条件得到改善, 耕地生产能力与耕地对抗外界不利冲击的能力不断增强^[10]。在耕地系统演变过程中, 自然因素在整个耕地系统中的作用不断弱化, 人为作用在不断加强, 耕地系统多由自然养地发展为人工养地^[11,12]。人类对耕地生产环境的改善一定程度上提升了耕地的资源利用效率和生产能力, 增强了耕地抵御外界干扰以及保持高产稳产的能力, 并为耕地利用系统的韧性评价, 即耕地利用系统应对不确定风险和危机的能力提供了

收稿日期: 2019-03-15; 修订日期: 2019-05-27

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFA0606303); 国家科技支撑计划项目(2015BAD06B00)。

作者简介: 孟丽君, 女, 山西阳泉人, 硕士生, 主要研究方向为耕地质量评价。E-mail: menglj@cau.edu.cn

通讯作者: 安萍莉, 女, 河北石家庄人, 教授, 主要研究方向为土地利用规划和耕地质量评价。E-mail: anpl@cau.edu.cn

新的思路和方向。当前韧性相关研究多用于韧性城市^[13,14]、心理韧性^[15]、工程韧性^[15]等方面,对于耕地系统的韧性鲜有研究,如何评价耕地系统的韧性是当前土地利用新的研究方向。

自20世纪70年代的改土治碱到现代的绿色发展,黄淮海平原的耕地利用发生了显著的变化。伴随着盐碱地治理、田间管理、新型设施农业等技术手段的不断发展,在耕地产能提升的同时,抵御外界干扰以及不确定风险的能力也不断加强,耕地利用的韧性变化值得关注。而曲周作为黄淮海平原的典型农业县,耕地利用发生了较大的变化,已经从盐碱地变为粮食主产区。因此,本文以曲周县为例,就1973年以来改土治碱等耕地利用技术对耕地利用系统的变化进行阶段划分,构建耕地利用系统韧性评价体系,并对各阶段耕地利用系统的韧性进行评价,以期探究不同技术支撑对耕地利用系统的影响,为耕地利用系统应对外界风险提供新的方向以及耕地可持续利用提供合理参考。

2 耕地利用系统韧性理论基础与内涵辨识

韧性(Resilience)一词,源于拉丁文resilio,表示系统物体受到冲击或扰动后能够恢复初始状态的能力^[16,17,18]。最初,西方心理学研究普遍使用“韧性”描述精神创伤之后的恢复状况^[19,20]。1973年加拿大生态学家霍林^[21]首次将韧性的思想应用到系统生态学的领域,来定义生态系统稳定状态的特征。韧性可以概括为:“衡量系统的持久性及其吸收变化和干扰的能力,并且仍然保持同样的种群关系或状态变量能力的一种测度”。之后,学者对韧性的研究逐渐推广开来,从生态系统向社会-生态系统扩展,从演化视角出发,韧性被认为是一个长期动态的过程,更加注重系统的前向演进和恢复^[22]。总体而言,韧性的概念经历了工程韧性、生态韧性到演进韧性的转变,也经历了“单一平衡”——“多重平衡”——“适应性循环”的演变^[22,23]。韧性表现在不断地循环适应中,随着各阶段的演替表现出不同的水平,强调系统通过不断调整自身结构与功能来适应频繁受到的冲击扰动,最终实现系统长期发展的能力^[24]。

耕地利用系统是满足自身需求,通过干预自然系统,依靠土地资源,利用农作物生长繁殖获得农产品而形成的半自然人工系统^[25]。经历了

由自然状态下的粗放利用、耕作制度单一、技术水平低下等特点演变成集约、精耕细作的农业技术体系的过程。在整个动态演化过程中,人类的投入与技术进步不断改善耕地生产环境,同时,系统本身也通过不断调整自身结构来适应外界环境,使得系统对抗外界干扰能力加强(图1)。演变过程中所体现的抵抗力、适应性、稳定性与韧性所体现的内涵相吻合。综合以上韧性概念,本文认为耕地利用系统韧性是指人工调控下的耕地利用系统所具有的对外界环境的适应性,抵御、缓冲外界干扰并维持内部结构和稳定增产的能力。因此,将韧性概念引入耕地利用系统中,对于提高耕地在面对外界不确定风险、维持自身功能稳定等方面的认识具有重要意义。

3 研究区概况、数据来源与研究方法

3.1 研究区概况

曲周县(114°50'E—115°13'E, 36°34'N—36°57'N)位于河北省邯郸市(图2),为内陆冲积平原浅层咸水型盐渍化地区,属暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均气温13.2℃,年均降雨量为556.2 mm。曲周历史上属于严重的旱涝盐碱地区,在盐碱地治理前,农业生产能力低下且相对不稳定,作物的生长条件大多只能满足一年一熟。经过盐碱地治理之后,曲周耕地利用进入高速发展时期,耕地生产较为稳定,作物单产不断提升,熟制提升至两年三熟或一年二熟,由建国时的45 kg/亩提升至现在的500 kg/亩。2000年前后,随着灌溉设施的完善,冬小麦-夏玉米一年二熟的种植制度得到发展和巩固,播种面积约占全县粮食播种面积的89%;同时出现了小拱棚、塑料大棚和日光温室等具有现代农业雏形的人工相对可控的土地利用方式,地膜覆盖

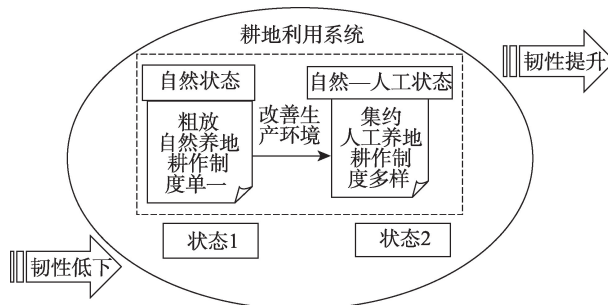


图1 耕地利用系统演变过程

Figure 1 Process of cultivated land system change

2019年10月

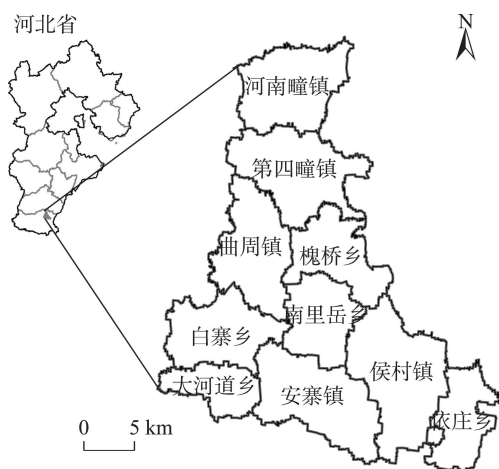


图2 曲周地理位置

Figure 2 Geographical location of Quzhou County

和育苗移栽等农业新技术逐渐普及^[26]。由此可见,随着农业设施的完善,耕地利用技术的不断发展,曲周作物熟制、单产不断提升,耕地生产能力逐渐趋于稳定,耕地利用也呈现出明显的阶段性特征。

3.2 数据来源

本文以曲周县主导耕作制度冬小麦-夏玉米一年二熟为基础,收集、整理了相关的农业统计数据及气象数据,用于耕地利用阶段的划分和耕地韧性指标的计算。

(1)统计数据:包括曲周县1973—2014年耕地面积、水浇地面积、作物的播种面积、单位面积产量、作物灌溉需水参数、作物受灾面积、成灾面积等数据,其中,作物灌溉需水量参数来源于相关文献^[27],其余数据来源于课题组整理的历年曲周县统计年鉴。以上数据主要用于耕地产出水平、作物资源利用效率、作物成灾率及区域灌溉用水量的计算。

(2)气象数据:曲周县1970—2014年的逐日气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://www.esi.cn>),因缺少曲周气象站点,参考周边站点(53898 安阳)确定,包括经度、纬度、海拔、辐射值、日平均气温、最高及最低气温以及逐日降水量等数据。以上数据主要用于积温与降水的计算。

由于后文要对作物生育期内积温和降水进行计算,需要对作物生育期进行界定。本文根据中国气象科学数据共享服务网中的中国农作物生长发育和农田土壤湿度旬值数据集(1991—2008年)进

行整理得到曲周站点(53893)的数据集,综合多年作物生育期时间,将冬小麦的生育期确定为每年10月10日至次年6月5日,夏玉米生育期确定为每年6月15日至9月30日。

3.3 研究方法

3.3.1 耕地利用阶段划分依据

由前文分析可知,耕地产能在耕地利用技术的发展与支撑下得到了阶段性的提升。因此,本文以耕地利用技术为主体,以耕地产出水平为辅助指标对曲周1973—2014年耕地利用阶段进行划分。对于产出水平的划分,通过计算其主导耕作方式下冬小麦-夏玉米一年二熟的单产水平以表征耕地产出水平,并参考相关研究^[28,29],以产量作为衡量耕地产出水平高低的依据。本文以曲周1973—2014年耕地平均单产为基础,将产量大于平均单产25%作为高产水平,小于平均单产25%为低产水平,介于二者之间为中产水平。

3.3.2 耕地利用系统韧性评价体系的构建

一定区域的耕地本身是一个复杂系统,对耕地利用产生的结果与效应分为“表象”与“潜在”两个层面。其中,表象效应是耕地系统本身所体现出来的粮食生产、资源利用等功能的集合,是耕地利用本身属性的反映。但是由于耕地利用离不开外界资源与环境的支撑,所以耕地利用对外界环境产生的“潜在”影响也是需要重点考虑的方面。

基于上述视角,从表象韧性与潜在韧性两个方面建立韧性评价指标体系(表1)。其中,表象韧性评价标准包括稳定增长能力、高效利用能力及抵抗干扰能力,反映了当耕地系统受到外界冲击时,系统缓冲外界干扰以保障耕地产出的稳定性,体现了耕地利用系统的稳定性和抗逆性;潜在韧性评价标准为资源支撑能力,反映耕地利用必须在资源支撑范围内,资源约束与枯竭对耕地韧性形成了潜在威胁,是未来耕地利用关注的重点。

(1)稳定增长能力。表现为耕地系统处于动态变化的过程中,耕地适应干扰并达到新的平衡的能力,反映在耕地系统产出的稳定增长上。故用粮食生产波动指数来表示耕地产出水平的稳定性^[30],粮食单产能力代表耕地生产能力的高低,计算公式为:

$$R_{1a} = \frac{D_i - D'_i}{D_i} \quad (1)$$

表1 耕地利用系统韧性评价指标

Table 1 Resilience evaluation indicators of cultivated land system

特性	综合能力	评价指标	内涵
表象韧性	稳定增长能力 高效利用能力 抵抗干扰能力	粮食生产波动指数 粮食单产水平 水热资源利用指数 抗逆指数	耕地利用系统的稳定性和抗逆性
潜在韧性	资源支撑能力	水资源平衡指数	耕地利用系统主导约束资源的支撑与保障

$$R_{1b} = D_i \quad (2)$$

式中: R_{1a} 为粮食生产波动指数; R_{1b} 为粮食单产水平; D_i 为第 i 年粮食单产 (kg/hm^2); D_i' 为第 i 年根据线性方程求得趋势单产 (kg/hm^2)。 R_{1a} 值越小, R_{1b} 值越大表明耕地产出的稳定性越好, 且产出能力较高。在本文中, 以冬小麦-夏玉米单产水平来计算。

(2) 高效利用能力。指在利用过程中, 系耕地系统不断适应外界环境体现出的高效资源利用能力。水热资源利用效率是指作物生育期内水热条件对作物产量形成的贡献^[31], 本文以水热资源利用指数来衡量高效利用能力, 为了综合水热资源对于粮食生产的影响, 须将二者进行标准化处理, 本文采用 min-max 标准化法进行无量纲化, 又由于在农业生产中, 水热资源同等重要, 二者指标权重均设为 1^[32], 计算公式为:

$$R_2 = SHUE + SWUE \quad (3)$$

$$HUE = \frac{Y}{\sum_{j=s}^e T_j} \quad (4)$$

$$WUE = \frac{Y}{ET} \quad (5)$$

式中: R_2 为水热资源利用指数; HUE 为热量资源利用效率 ($\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$); $SHUE$ 为标准化后热量资源利用效率; WUE 为水资源利用效率 (kg/m^3); $SWUE$ 为标准化后的水资源利用效率; Y 为单位土地面积上作物产量 (kg/hm^2); s 为作物生育期内日平均温度 $\geq 0^\circ\text{C}$ 的起始日; e 为作物生育期内日平均温度 $\geq 0^\circ\text{C}$ 的终止日; T_j 为第 j 日的日平均气温 ($^\circ\text{C}$); ET 为作物的耗水量 (mm), 包括作物生育期内降雨量与灌溉量。 R_2 值越大, 表明耕地资源利用效率越高。

(3) 抵抗干扰能力。指在受到气候变化、灾害等不可知因素的冲击时, 耕地系统抵御外界干扰的能力。故本文用抗逆指数来表征抵抗干扰能力。计算公式为:

$$R_3 = 1 - \frac{S_c}{S_s} \quad (6)$$

式中: R_3 为抗逆指数; S_c 为成灾面积 (hm^2); S_s 为受灾面积 (hm^2)。 R_3 越大, 表明耕地受灾率越小, 抵抗干扰能力越强。

(4) 资源支撑能力。耕地的利用离不开自然资源的支撑与保障, 资源约束与枯竭对耕地韧性形成了潜在威胁, 是未来耕地利用关注的重点。相比光热资源, 曲周当前耕地利用限制条件主要是水资源。本文以水资源平衡指数表征资源支撑能力, 反映区域地下水资源补给量与作物灌溉量的盈亏程度, 计算公式为:

$$R_4 = \frac{W_a - W_b}{W_b} \quad (7)$$

$$W_a = 10^{-1} \alpha PF + \beta W_b \quad (8)$$

$$W_b = k \sum_{i=1}^n S_i I_i \quad (9)$$

式中: R_4 为水资源平衡指数; W_a 为地下水补给量 (10^4m^3), 本文主要考虑降雨入渗补给与井灌回归补给; α 为降水入渗补给系数; P 为年降水量 (mm); F 为计算区面积 (km^2); β 为井灌回归系数; W_b 为区域灌溉用量 (10^4m^3); k 为灌溉率 (%), 表示水浇地占耕地的比例; S 为作物播种面积 (hm^2); I 为作物灌溉用量参数 ($10^4 \text{m}^3/\text{hm}^2$), $i=1, 2$, 分别代表冬小麦、夏玉米。若 $R_4 < 0$, 说明用水量超出区域地下水资源补给量, 耕地利用是不可持续的。

根据相关研究, 曲周降水入渗系数为 0.27, 井灌回归系数为 0.17, 曲周水中长期计划提供的需水参数, 冬小麦的灌水用量为 $3750 \text{m}^3/\text{hm}^2$, 夏玉米为 $2250 \text{m}^3/\text{hm}^2$ ^[27], 以上参数作为本文计算水资源平衡指数的基本参数。

4 结果与分析

4.1 1973—2014年曲周耕地利用系统阶段划分

曲周耕地利用技术变化具有明显的特征。

2019年10月

1973年秋,为了消除盐碱障碍,恢复耕地的生产能力,在曲周建立了一代(1973—1985年)、二代(1978—1985年)、三代(1982—1985年)综合治理试验区。1985年之后,曲周耕地利用进入高速发展时期,灌溉技术的提高和田间设施的完善使得曲周冬小麦-夏玉米耕作制度稳定发展,也是作物产量提高的关键因素。2000年前后,地膜覆盖技术被大规模推广,曲周县城周围也出现了以温室栽培技术为基础的蔬菜大棚,通过提高资源利用效率以增加作物产量。

结合耕地产出水平来看,1973—2014年,曲周县多年耕地平均单产水平为 8211.79 kg/hm^2 ,上下浮动25%得到高产、低产的分界值,分别为 10264.73 kg/hm^2 和 6158.84 kg/hm^2 。由图3可以看出,耕地产出水平低产和中产的拐点在1984—1986年之间,中产和高产之间的拐点在2001—2003年之间,对于个别年份出现的异常值,本文不予考虑。

基于上述划分依据,以耕地利用技术为主体,以耕地产出水平为辅助指标,将曲周耕地利用系统分为以下3个发展阶段(图3):

(1)改土治碱阶段(1973—1985年):人们对于当时耕地利用系统的脆弱性认知加强,并对其进行一定的改良与治理,主要表现为以工程治理技术为主,以作物栽培技术、绿肥种植技术、土壤改良技术为辅,以消除盐碱障碍为标志,使耕地产量达到最低生产限度。

(2)稳定发展阶段(1986—2002年):盐碱地治理之后,人们为了提升和稳定耕地的生产水平,多采取田间管理措施,加大生产要素(水、化肥、农药)的供给,使耕地达到中等产出水平。主要表现为以田间技术措施为主,以作物品种引进和筛选、作物种植技术为辅,以灌溉、化肥、农药为标志,以提升和稳定耕地的生产潜能。

(3)高效提升阶段(2003—2014年):随着农业技术的发展,人们已经不仅仅局限于之前“依天靠地”的土地利用方式,而是出现了温室大棚等人工相对可控的土地利用方式,通过改善自然环境条件使之更适宜于作物生长。主要表现为以提高光温水土资源利用效率的技术为主,以温室大棚为标志,以调控耕地生产环境为目标。

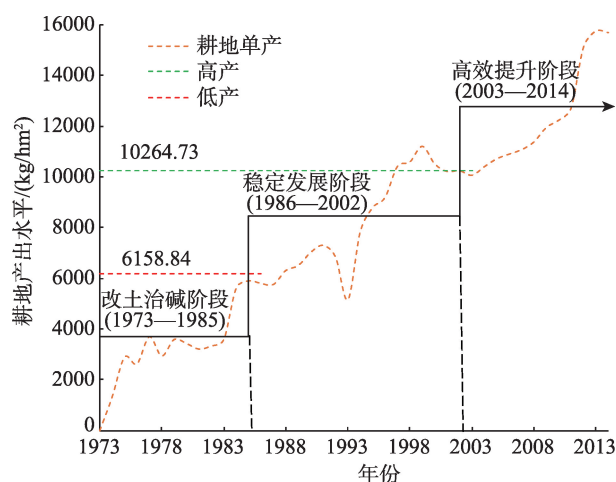


图3 曲周县1973—2014年耕地利用系统阶段划分

Figure 3 Stages of cultivated land utilization in Quzhou County, 1973-2014

4.2 1973—2014年曲周耕地利用阶段的韧性评价

4.2.1 不同耕地利用阶段的表象韧性评价

(1)稳定增长能力

根据1973—2014年耕地单产数据,通过拟合得到方程为 $y=0.31t+1.45$ ($R^2=0.95$), y 为趋势单产(t/hm^2), t 为年份序列,如1973年为1,1974年为2,以此类推从而得到每年的趋势单产。根据公式(1)、(2)求得每年耕地生产的波动情况如图4和表2所示。

1973—2014年曲周县耕地单产水平呈波动上升的趋势。改土治碱阶段平均单产为 3693.46 kg/hm^2 ,耕地生产水平低下且不稳定,波动系数较大且周期性较短,波动幅度为17%。随着障碍因子的消除,耕地生产能力逐渐恢复,稳定发展阶段平均单产水平为 8466.12 kg/hm^2 ,粮食生产具有较小的波动性,波动幅度为7%,其中1992年由于污水灌溉导致粮食作物大量减产^[33],所以该年份的粮食产量波动较为剧烈。到了高效提升阶段,随着灌溉水平的不断提升,各种提升作物单产水平的农业技术水平保障了作物的高产稳产,耕地单产水平达到 12746.33 kg/hm^2 ,波动幅度较小为8%,且具有一定的周期性。可见,随着技术的不断进步使得耕地生产环境逐渐改善,不仅使耕地生产能力增加,且生产愈加稳定,受外界干扰程度逐渐降低。

(2)高效利用能力

对比不同年份作物水热资源利用效率可知(图

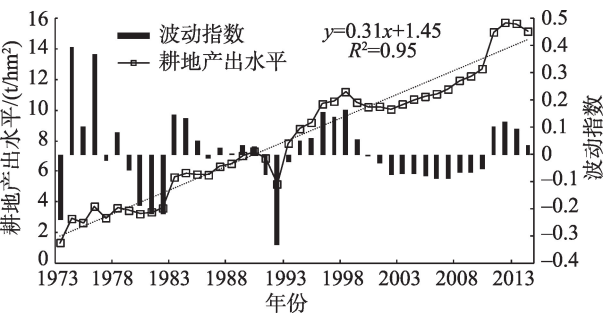


图4 曲周县1973—2014年耕地生产水平及波动情况变化

Figure 4 Change of cultivated land production and fluctuation in Quzhou County, 1973-2014

表2 不同耕地利用阶段的粮食波动指数及耕地单产水平

Table 2 Fluctuation index of grain production and yield of cultivated land at various stages

耕地利用阶段	波峰	波谷	波幅	平均亩产/(kg/hm ²)
改土治碱阶段	0.40	-0.24	17%	3693.46
稳定发展阶段	0.16	-0.33	7%	8466.12
高效提升阶段	0.12	-0.09	8%	12746.33

5),两种作物的资源利用效率均在波动中上升,说明随着耕地生产条件的改善,耕地逐渐适应外界环境,充分利用外界提供的光温水资源。同时对比不同阶段水热资源利用效率(表3),在改土治碱阶段,水热资源综合利用指数仅为0.34,说明水热资源对

于作物产出贡献极低,这是由于该阶段耕地系统较为脆弱,极易受到外界干扰,作物单产水平较低,即使水热条件很好,作物很难利用。随着盐碱治理措施的实施,完善田间设施,调控生长环境,使得作物充分利用水热资源,单产水平不断提升,在稳定发展阶段和高效提升阶段水热资源综合利用效率达到了0.98和1.58,耕地利用系统的高效利用能力处于较高水平。

(3)抵抗干扰能力

综合治理之前,由于耕地受盐碱障碍制约,生产环境恶劣,作物生长受限,抵抗气候、病虫等外界灾害能力较差,极易受灾而导致减产,甚至绝收。因此,为了消除盐碱障碍,改善耕地的生产环境,1973年开始采用工程技术,建设了大量灌排工程,辅以绿肥种植、施加有机肥,有效地增强了耕地抵抗旱涝盐碱的能力,耕地的抗逆指数提升至0.62,但是由于此时耕地处于障碍因子消除的初期,故此时的抵抗干扰能力还是较弱。随着化肥、农药等以及灌溉设施的推广,干旱、病虫害带来的减产大幅降低,抗逆指数达到了0.80。随着前期治理成果的不断积累,进入高效提升阶段,温室大棚等新技术的出现,使耕地利用系统完全进入一个新的生长环

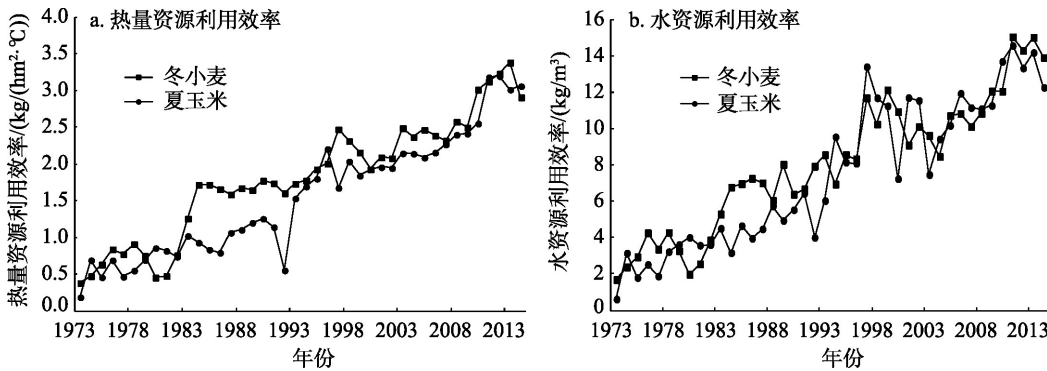


图5 曲周县1973—2014年冬小麦、夏玉米水热资源利用效率变化情况

Figure 5 Change in water and heat production efficiency of wheat and maize in Quzhou County, 1973-2014

表3 不同耕地利用阶段的水热资源综合利用指数

Table 3 Comprehensive utilization index of water and heat resources at various stages in Quzhou County

阶段	热量资源利用效率/(kg/(hm ² ·℃))			水资源利用效率/(kg/m ³)			水热资源综合利用指数
	冬小麦	夏玉米	综合	冬小麦	夏玉米	综合	
改土治碱阶段	0.86	0.69	0.79	3.81	3.10	3.53	0.34
稳定发展阶段	1.89	1.52	1.77	8.58	7.87	8.36	0.98
高效提升阶段	2.73	2.55	2.65	11.91	11.71	11.82	1.58

2019年10月

境,不仅能在一定程度上抵御冰雹、霜冻等自然灾害导致的作物减产,还可以调节温度、湿度,此阶段耕地利用系统的抗干扰能力最强,抗逆指数达到0.97。但温室大棚属于相对密闭的空间,作物无法利用天然降水,受灌溉的影响较大,易受到病虫害和缺水的影响而导致作物减产。

4.2.2 不同耕地利用阶段的潜在韧性评价

根据公式(7)-(9)的计算结果,得到曲周1973—2014年区域水资源平衡指数的变化(图6),可以看出曲周县水资源平衡指数整体呈现波动下降的趋势,这种变化趋势主要源于两个原因:第一是气候变化导致区域降雨量减少使其入渗减少,因此水资源补给逐渐减少;第二是随着耕地灌溉率的提升,耕地集约化程度提高,加剧了地下水开采力度,二者共同导致区域地下水资源的失衡。在改土治碱阶段,由于灌溉设施的不完善及盐碱障碍因子的存在,作物灌溉率低,作物用水量少,水资源平衡指数为0.26。到了稳定发展阶段,根治了盐碱地,修建了大量灌排、机井工程,农田灌溉率也得到大幅的提升,灌溉消耗水量逐年加大,并逐渐超过地下

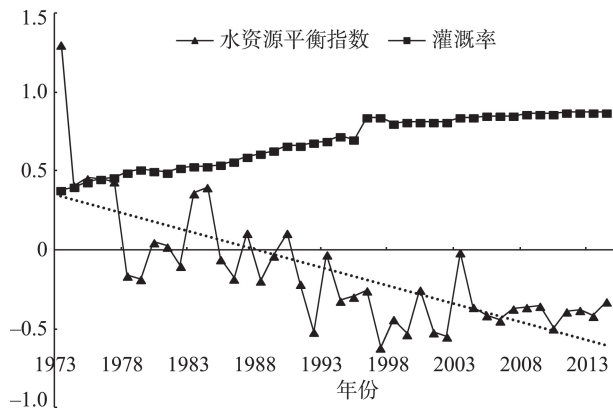


图6 曲周县1973—2014年水资源平衡指数随时间变化情况

Figure 6 Temporal variation of water resources balance index in Quzhou County, 1973-2014

水补给量,水资源平衡指数为-0.28。到了高效提升阶段,机井灌溉设施的大面积覆盖,水浇地面积不断增长,区域水资源失衡程度加剧,水资源平衡指数为-0.36。由于高耗水作物的大面积种植及灌溉设施的增加,加剧了水资源的利用强度,该阶段地下水资源已处于严重超采状态,造成地下水位不断下降,受到地下水资源耗竭的潜在威胁^[33,34,35],故在该阶段亟需减轻地下水的开采压力以提高该阶段的资源支撑能力。

4.2.3 不同耕地利用阶段韧性评价总结

通过上述分析,得到了曲周县不同耕地利用阶段耕地韧性评价结果如表4所示。

由于耕地利用技术的不断进步与田间有效管理措施的实施,耕地系统突破了原有自然条件的限制,1973—2014年曲周县粮食稳定增产能力、资源利用效率以及抗灾害能力稳定增长,因此高效利用阶段的表象韧性高于前两个阶段,说明合理利用技术手段提升耕地系统自身抗逆能力以及稳产高产能力对于保障耕地安全具有重要意义。但是,耕地本身的利用需要外界环境与资源的保障,资源的短缺将成为耕地韧性的障碍。从潜在韧性来看,高效提升阶段的水资源平衡指数为-0.36,相比前两个阶段而言,已经严重透支地下水资源导致区域水资源失去平衡,该阶段由于高耗水作物的大面积种植不得不依赖农业灌溉,对地下水资源造成严重负担,是该阶段耕地利用韧性长远而潜在的危害,该阶段不应只关注表象韧性,更应该关注潜在韧性,减轻地下水资源的压力,以增强该阶段的耕地韧性。

5 结论

本文提出了耕地利用系统韧性的概念,认为耕地利用系统韧性是人工调控下的耕地利用系统所具有的对外界环境的适应性,抵御、缓冲外界干扰并能维持内部结构和稳定增产的能力。基于表象

表4 曲周县各阶段的耕地利用系统韧性评价

Table 4 Evaluation of cultivated land system resilience at various stages in Quzhou County

特性	综合能力	评价结果		
		改土治碱阶段	稳定发展阶段	高效提升阶段
表象韧性	稳定增长能力	低	中	高
	高效利用能力	低	中	高
	抵抗干扰能力	低	中	高
潜在韧性	资源支撑能力	高	中	低

韧性及潜在韧性两个层面,从稳定增长能力、高效利用能力、抵抗干扰能力、资源支撑能力4个方面构建了指标体系,并对曲周县1973—2014年不同耕地利用阶段进行了评价,结果如下:

(1)依据主导的耕地利用技术并结合耕地产出水平,将曲周耕地利用划分为以下3个阶段。①改土治碱阶段(1973—1985年):该阶段主要是利用工程技术进行盐碱地治理,消除作物生长的障碍因素,改造低产田以恢复耕地产能;②稳定发展阶段(1986—2002年),以田间治理技术为核心,提供作物所需的水热肥等要素,稳定和提升耕地的生产能力;③高效提升阶段(2003—2014年),以设施农业为新型土地利用方式以突破自然条件限制,调控作物生长条件提升资源利用效率。不同的阶段由于耕地自身条件及技术水平的差异,耕地系统的产出水平以及适应外界环境的表现具有较大差异。

(2)基于表象韧性不同评价标准,曲周县耕地利用系统的粮食生产稳定性、水热资源利用效率以及抗逆性逐步提升,技术的进步是提升耕地系统表象韧性的重要原因。伴随着韧性的提高,高效提升阶段耕地单产最高达到12746.33 kg/hm²,粮食生产波动指数较小为8%,水热资源利用指数为1.58,抗逆指数为0.97,均好于前两个阶段。

(3)从潜在韧性来看,曲周县水资源平衡指数逐年下降。高效提升阶段水资源平衡指数为-0.36,区域水资源失去平衡,耕地利用受到地下水位不断下降、地下水资源耗竭的威胁,亟需对该阶段灌溉技术进行改善,提高水资源利用率,减少水资源浪费。同时减少高耗水作物的种植,增加耐旱作物,减小该阶段地下水资源压力,增强耕地韧性。

本文提出了耕地利用系统韧性的概念与指标评价体系,对耕地“质量”管理进行了丰富和完善,但由于耕地韧性在国内外都尚未多见,也未形成统一的认识和标准,因此还有进一步值得商榷的地方。另外,本文评价的为纵向动态演化的耕地韧性,在横向空间上没有体现韧性评价结果,将韧性的评价结果落实到空间上对比不同地区的耕地韧性差异性具有重要意义,有待进一步研究。

参考文献(References):

[1] 傅泽强,蔡运龙,杨友孝,等.中国粮食安全与耕地资源变化的

相关分析[J].自然资源学报,2001,16(4):313-319.[Fu Z Q, Cai Y L, Yang Y X, et al. Research on the relationship of cultivated land change and food security in China[J]. Journal of Natural Resources, 2001, 16(4): 313-319.]

[2] 张士功.耕地资源与粮食安全[D].北京:中国农业科学院,2005.[Zhang S G. Cultivated Land Resources and Grain Security [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2005.]

[3] 钟甫宁,邢鹏.粮食单产波动的地区性差异及对策研究[J].中国农业资源与区划,2004,25(3):16-19.[Zhong F N, Xing L. Study on the regional differences and counter measures for regions with fluctuating grain yield per unit area[J]. Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning, 2004, 25(3): 16-19.]

[4] 王春乙,娄秀荣,王建林.中国农业气象灾害对作物产量的影响[J].自然灾害学报,2007,16(5):37-43.[Wang C Y, Lou X R, Wang J L. Influence of agricultural meteorological disasters on output of crop in China[J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 16(5): 37-43.]

[5] 辛芸娜,范树印,孔祥斌,等.四重质量维度下的县域耕地质量评价方法研究[J].资源科学,2018,40(4):737-747.[Xin Y N, Fan S Y, Kong X B, et al. Evaluation of cultivated land quality based on four quality dimensions[J]. Resources Science, 2018, 40 (4): 737-747.]

[6] 赵瑞,吴克宁,张小丹,等.粮食主产区耕地健康产能评价:以河南省温县为例[J].中国土地科学,2019,33(2):67-75.[Zhao R, Wu K N, Zhang X D, et al. Evaluation on farmland health productivity in main grain production areas: A case study in Wen County of Henan Province[J]. China Land Science, 2019, 33(2): 67-75.]

[7] 吴文盛,朱军,郝志军.耕地资源的安全评价与预警[J].地域研究与开发,2003,22(5):46-49.[Wu W S, Zhu J, Hao Z J. An evaluation and prediction on the safety of cultivated land resources[J]. Areal Research and Development, 2003, 22(5): 46-49.]

[8] 宋戈,陈藜藜,邹朝晖.黑龙江省耕地系统安全预警及其驱动因素空间分异[J].农业工程学报,2018,34(3):1-9.[Song G, Chen L L, Zou C H. Spatial heterogeneity of early-warning status of cultivated land system security and its driving factors in Heilongjiang Province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(3): 1-9.]

[9] 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.[Chen L L, Song G, Zou C H. Study on early-warning of cultivated land system security in Heilongjiang Province based on the immune mechanism[J]. China Land Sciences, 2017, 31(5): 79-88.]

[10] 龚晨,安萍莉,琪赫,等.阴山北麓地区农作制度演变历程及演变规律研究[J].干旱区资源与环境,2007,21(2):66-70.[Gong C, An P L, Qi H, et al. Study on the evolution courses and laws of the farming system in northern region of Yinshan Mountain[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(2): 66-70.]

2019年10月

- [11] 杨庆媛, 陈展图, 信桂新, 等. 中国耕作制度的历史演变及当前轮作休耕制度的思考[J]. 西部论坛, 2018, 28(2): 1-8. [Yang Q Y, Chen Z T, Xin G X, et al. The historical evolution of Chinese cultivation system and some thoughts on the current land fallow and crop rotation policy[J]. West Forum, 2018, 28(2): 1-8.]
- [12] 周丁扬. 全国耕作制度演变及其对粮食安全的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2008. [Zhou D Y. The Dynamic Change of Farming System and Its Impact on Food Security in China[D]. Beijing: China Agricultural University, 2008.]
- [13] 邵亦文, 徐江. 城市韧性: 基于国际文献综述的概念解析[J]. 国际城市规划, 2015, 30(2): 48-54. [Shao Y W, Xu J. Understanding urban resilience: A conceptual analysis based on integrated international literature review[J]. Urban Planning International, 2015, 30(2): 48-54.]
- [14] 李彤玥. 韧性城市研究新进展[J]. 国际城市规划, 2017, 32(5): 15-25. [Li T Y. New progress in study on resilient cities[J]. Urban Planning International, 2017, 32(5): 15-25.]
- [15] Maste A S. Ordinary magic: Resilience processes in development [J]. American Psychologist, 2001, 56(3): 227-238.
- [16] Rose A. Economic resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions[J]. Environmental Hazards, 2007, 7(4): 383-398.
- [17] Martin R. Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks[J]. Journal of Economic Geography, 2012, 12(1): 1-32.
- [18] Reggiani A. Network resilience for transport security: Some methodological considerations[J]. Transport Policy, 2013, 28: 63-68.
- [19] Alexander D E. Resilience and disaster risk reduction: An etymological journey[J]. Natural Hazards and Earth System Science, 2013, 13(11): 2707-2716.
- [20] Connor K M, Davidson J R. Development of a new resilience scale: The Connor-Davidson resilience scale[J]. Depression and Anxiety, 2003, 18(2): 76-82.
- [21] Holling C S. Resilience and stability of ecological system[J]. Annual Review of Ecological System, 1973, 4(1): 1-23.
- [22] Pendall R, Foster K A, Cowell M. Resilience and regions: Building understanding of the metaphor[J]. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 2010, 3(1): 71-84.
- [23] 李连刚, 张平宇, 谭俊涛, 等. 韧性概念演变与区域经济韧性研究进展[J]. 人文地理, 2019, 34(2): 1-7. [Li L G, Zhang P Y, Tan J T, et al. Review on the evolution of resilience concept and research progress on regional economic resilience[J]. Human Geography, 2019, 34(2): 1-7.]
- [24] Simmie J, Martin R. The economic resilience of regions: Towards an evolutionary approach[J]. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 2010, 3(1): 27-43.
- [25] 乔家君, 许家伟. 农田系统研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究, 2011, 27(1): 35-43. [Qiao J J, Xu J W. Progresses of farmland system[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2011, 27(1): 35-43.]
- [26] 王秀芬, 毕继业, 郝晋珉, 等. 河北省曲周县设施农业资源利用程度评价[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 223-226. [Wang X F, Bi J Y, Hao J M, et al. Evaluating resources utilization degree of protected agriculture in Quzhou County in Hebei Province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(4): 223-226.]
- [27] 孔祥斌, 张凤荣, 齐伟, 等. 集约化农区土地利用变化对水资源的影响: 以河北省曲周县为例[J]. 自然资源学报, 2004, 19(6): 747-753. [Kong X B, Zhang F R, Qi W, et al. The effects of land use change on water resource in intensive agricultural region: A case study of Quzhou County in Hebei Province[J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(6): 747-753.]
- [28] 林鹏生. 我国中低产田分布及增产潜力研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008. [Lin P S. Study on the Distribution and Possible Production Increase of Medium and Low-Yield Farmland in China[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008.]
- [29] 石全红, 王宏, 陈卓, 等. 中国中低产田时空分布特征及增产潜力分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(19): 369-373. [Shi Q H, Wang H, Chen F, et al. The spatial-temporal distribution characteristics and yield potential of medium-low yielded farmland in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(19): 369-373.]
- [30] 刘东, 封志明, 杨艳昭, 等. 中国粮食生产发展特征及土地资源承载力空间格局现状[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 1-6. [Liu D, Feng Z M, Yang Y Z, et al. Characteristics of grain production and spatial pattern of land carrying capacity of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(7): 1-6.]
- [31] 宋梦美, 安萍莉, 江丽, 等. 1993-2013年吉林省主粮作物种植布局及其水热资源利用效率评估[J]. 资源科学, 2017, 39(3): 501-512. [Song M M, An P L, Jiang L, et al. Cultivation patterns of main grain crops and evaluation of water and heat resource utilization efficiency in Jilin Province from 1993 to 2013[J]. Resources Science, 2017, 39(3): 501-512.]
- [32] 赵同应, 朱凌云, 胡良温, 等. 山西粮食作物水热资源利用效率分析及评价[A]. 中国气象学会农业气象与生态学委员会, 广西壮族自治区气象学会. 粮食安全与现代农业气象业务发展-2008年全国农业气象学术年会论文集[C]. 桂林: 广西壮族自治区气象学会, 2008. [Zhao T Y, Zhu L Y, Hu L W, et al. The Analysis and Evaluation of Water and Heat Resource Use Efficiency of Grain Crops in Shanxi Province[A]. Agricultural Meteorology and Ecology Committee of China Meteorological Society, Guangxi Zhuang Autonomous Region Meteorological Society. Food Security and the Development of Modern Agricultural Meteorological Service-The Proceedings of Annual Academic Conference on National Agricultural Meteorology in 2008[C]. Guilin: Guangxi Zhuang Autonomous Region Meteorological Society, 2008.]

- [33] 沈去凡. 曲周地下水位变化及其对农业影响的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2009. [Shen Q F. A Study on the Groundwater Level Change and its Effect on Agriculture in Quzhou[D]. Beijing: China Agricultural University, 2009.]
- [34] 李新波. 盐渍化改造区土地利用变化对地下水资源的影响: 以河北省曲周县为例[J]. 北京: 中国农业大学, 2007. [Li X B. Effect of Land Use Change on Groundwater Resource in Salinity Transforming Region: A Case Study of Quzhou County in Hebei Province[D]. Beijing: China Agricultural University, 2007.]
- [35] 沈去凡, 王数, 张凤荣, 等. 曲周地下水位下降对农业种植结构的影响[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(5): 51–56. [Shen Q F, Wang S, Zhang F R, et al. Influence of the underwater level drop on agricultural planting structure in Quzhou[J]. Journal of China Agricultural University, 2013, 18(5): 51–56.]

Evaluation of cultivated land system resilience of Quzhou County

MENG Lijun^{1,2}, HUANG Can³, CHEN Xin^{1,2}, JIANG Li^{1,2}, ZHANG Guoliang^{1,2},
HAO Jinmin^{1,2}, AN Pingli^{1,2}

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Key Laboratory for Land Quality, Ministry of Natural Resources, Beijing 100193, China;

3. Bureau of Natural Resources of Guilin, Guilin 541199, China)

Abstract: Evaluation of cultivated land resilience is an effective way to manage cultivated land resources and ensure the sustainable use of cultivated land and food security. This research put forward the concept of cultivated land system resilience and established the evaluation index system including stable growth capacity, efficient utilization ability, interference resistance ability, and resource support ability based on apparent resilience and potential resilience. This study selected Quzhou County of Hebei Province as the case study area and divided cultivated land utilization of the county from 1973 to 2014 into stages, and evaluated the resilience of cultivated land system in different stages. The results show that: (1) Cultivated land use was divided into three stages based on cultivated land use technology and cultivated land output level: saline-alkali land treatment stage (1973-1985), stable development stage (1986-2002), and rapid development stage (2003-2014); (2) The apparent resilience at the rapid development stage was higher than the previous two stages, the yield per unit area of cultivated land was the highest, reaching 12476.33 kg/hm², fluctuation index value of grain production was 8%, and comprehensive utilization index of water and heat resources was 1.58, stress resistance index was 0.97. Technology progress was the main reason for this change; (3) The potential resilience at the rapid development stage was the lowest, it's water resources balance index value was -0.36, indicating that regional water resources were out of balance. Therefore, it is urgent to improve irrigation technology and the application of irrigation at this stage to enhance the resilience of cultivated land system. The resilience of the cultivated land system and the adaptability to external disturbances should be continuously enhanced to meet the management of the current “quantity, quality and ecology” of cultivated land.

Key words: cultivated land system; cultivated land utilization stage; apparent resilience; potential resilience; Quzhou County of Hebei Province