

程小云,张琴,兰芳芳,等.河西走廊草地荒漠化动态及驱动因素[J].中国沙漠,2022,42(6):134-141.

河西走廊草地荒漠化动态及驱动因素

程小云¹,张琴¹,兰芳芳¹,李源¹,韩雅萱²,
张黎敏¹,杨妍轲³,王新源¹

(1.甘肃省生态资源监测中心/甘肃省林业调查规划院,甘肃兰州730020;2.甘肃省林业科技推广站,甘肃兰州730046;3.甘肃省白龙江林业生态监测和调查规划院,甘肃兰州730000)

摘要:草地荒漠化是河西走廊面临的主要生态问题。探究河西走廊草地荒漠化的现状与变化,是维持地区生态安全、确保经济社会健康稳定发展的关键。本研究以2009、2014、2019年全国荒漠化监测数据为基础,结合同时期的气象和年鉴数据,利用趋势分析、灰色关联及结构方程模型等方法,分析了河西走廊草地荒漠化的动态变化规律,在此基础上,量化了驱动草地荒漠化的因素。结果表明:(1)河西走廊草地荒漠化威胁持续存在,2019年,荒漠化草地面积为371.93万hm²,占河西走廊草地总面积的43.7%,荒漠化程度以中度为主,占比为65.58%。(2)2009—2019年,荒漠化草地面积减少134.68万hm²,草地荒漠化得到有效遏制。根据草地荒漠化程度综合性评价指数,除金昌市外,酒泉市、嘉峪关市、张掖市和武威市草地荒漠化呈逆转趋势。(3)驱动草地荒漠化动态变化的各类因素中,年降水量增加有助于荒漠化逆转,年均气温、农作物播种面积、大牲畜存栏数、常住人口数与草地荒漠化呈正相关,其中常住人口数通过影响农作物播种面积间接导致草地荒漠化加剧。

关键词:河西走廊;草地荒漠化;现状和变化;驱动因素

文章编号:1000-694X(2022)06-134-08

DOI:10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00065

中图分类号:S283

文献标志码:A

0 引言

荒漠化是发生于干旱半干旱和亚湿润地区,在气候因素和人类活动共同影响下形成的土地退化。荒漠化属于破坏性的生物地理过程,将导致生物多样性丧失、土壤肥力下降以及生态承载力的降低^[1-2]。中国荒漠化和易受荒漠化影响的土地合计332.7万km²,约占国土面积的34%,是全球遭受荒漠化侵害最严重的国家之一^[3]。鉴于此,土地荒漠化动态监测和防治逐渐成为中国恢复生态学领域研究的热点^[4-5]。

草地是陆地生态系统分布最广泛的植被类型,具有维持生物多样性、提高地表碳汇、防治水土流失等诸多生态功能^[4]。草地的生态多功能性除了提供基础的生态福祉,也为人类生存栖息和生产发展带来了重要的社会效益和经济效益^[6]。主要表现在草地生态系统能够为畜牧业提供基本的生产资料,

是牧民生存与生活的物源基础^[7]。例如,中国70%的羊毛、33%的羊肉、15%的牛肉和10%的牛奶来自于北方草地^[8]。

河西走廊位于甘肃省,是中国西北干旱半干旱区一个相对独立的地理单元,生态环境脆弱性与敏感性并存^[9]。草地是河西走廊的主要植被,约占整个区域面积的35.6%,是维持中国西北地区生态功能稳定与安全的关键生态系统^[10-11]。草地荒漠化是河西走廊面临的主要生态问题,其形成可归因于干旱缺水的自然环境与人类不合理的生产生活模式^[11-12]。目前,针对河西走廊草地荒漠化的小尺度研究多局限于典型区域荒漠化过程中植被-土壤-微生物体系的生态学过程^[13-15]。大空间尺度的研究主要聚焦于面积和现状的简单分析^[11,16-19]、土地利用变化^[20-21]等方面,而对于定量分析河西走廊草地荒漠化各驱动因素的方向与强度,尤其是探究驱动

收稿日期:2022-03-11; 改回日期:2022-04-12

资助项目:甘肃省自然科学基金项目(20JR5RA089);甘肃省林草局草原生态修复治理科技支撑项目(甘林草函[2020]72号)

作者简介:程小云(1991—),男,甘肃秦安人,硕士,主要从事森林资源管理、荒漠化防治方面的研究。E-mail:chengxy1001@126.com

通信作者:王新源(E-mail:wxy0931@163.com)

因素之间关系的研究还较为欠缺。基于此,本研究以全国三期荒漠化监测甘肃河西走廊区域的数据为基础,结合同一时段的气象数据与年鉴数据,应用统计方法,分析过去15年草地荒漠化的现状和动态特征,并就驱动草地荒漠化的自然和人为因素的作用机制进行探索,以期精准防治草地荒漠化,构建科学有效的草地保护监管体系提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

河西走廊位于甘肃省西部,东西长1 200 km,南北宽40—100 km^[11](图1)。区域内地势南高北低,南部为海拔3 000 m以上的祁连山脉,中部是石羊河、黑河、疏勒河等冲击形成的荒漠绿洲平原,北部则为龙首山、合黎山等组成的断续山地^[9]。河西走廊属于典型的温带大陆性气候区,年降水量40—300 mm,大部分区域蒸发量超过1 500 mm,年均气温6.2—9.0 °C^[9],年大风持续时间42.58—1 259.25 h^[22]。行政区划包括酒泉市、嘉峪关市、张掖市、金昌市、武威市5个地级市,土地总面积27.72×10⁴ km²^[16],荒漠化土地发育明显且分布广泛,按照成因主要包括风蚀、水蚀、冻融和盐碱化4种类型^[23]。

1.2 数据来源

有关荒漠化草地的基础数据来源于国家林草局主导的甘肃省第四、五、六期荒漠化监测矢量数据库,主要提取河西走廊5个地级行政区(下文简称河西5市或行政区)的国土总面积、非荒漠化草地面积和4种不同程度的荒漠化草地面积(轻度、中度、重度和极重度);驱动草地荒漠化的自然因子选择

年降水量和年均气温,来自于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)的气象空间插值数据集,采用投影转换和数据掩膜,解析出河西5市的气象栅格数据,利用ArcGIS中的区域分析进行栅格均值化,获得气象数据的区域平均值。基于河西走廊生境特征与社会经济结构的考量,社会因子通过已公开的《甘肃发展年鉴》获得,本研究共选取地区生产总值、常住人口数、大牲畜存栏数、羊存栏数、粮食产量、农作物播种面积、农村用电量、化肥施用折纯量、农业产值、林业产值、牧业产值和成灾面积等12个指标。

1.3 数据处理

1.3.1 草地荒漠化程度综合性评价指数

根据甘肃省荒漠化和沙化技术实施细则^[24],采用多因子数量化评价方法,将荒漠化程度依照评分值进行量化分级(表1)。其中非荒漠化≤20,轻度25—40,中度41—60,重度61—84,极重度≥85;由于河西5市草地荒漠化面积和行政区面积比例不一致,同面积给定荒漠化程度草地的转化对于不同行政区的影响存在差异,这种差异将干扰评价的准确性。因此,将各市荒漠化草地总面积与国土总面积的比例进行加权处理,重新计算草地荒漠化等级分值,得到草地荒漠化程度综合性评价指数(I ,简称荒漠化综合指数)。各分级取中间值,分别为32.5、50.5、72.5、92.5。即:

$$I = (P_{轻} \times 32.5 + P_{中} \times 50.5 + P_{重} \times 72.5 + P_{极重} \times 92.5) \times S_{荒} / S_{国} \quad (1)$$

式中: I 为荒漠化综合指数, $P_{轻}$ 、 $P_{中}$ 、 $P_{重}$ 、 $P_{极重}$ 依次为轻、中、重、极重4种草地荒漠化程度在草地荒漠化总面积中的占比, $S_{荒}$ 、 $S_{国}$ 依次为荒漠化草地面积和国土总面积。

表1 干旱半干旱区草地荒漠化程度评价分级^[24]

Table 1 Evaluation and classification of grassland desertification degree in arid and semi-arid regions^[24]

| 评价指标 | 量化分值 |
|-------|---|
| 植被总盖度 | <10%(评分40)、10%—24%(评分30)、25%—39%(评分20)、40%—59%(评分10)、≥60%(评分4) |
| 土壤质地 | 黏土(评分1)、壤土(评分5)、砂壤土(评分10)、壤砂土(评分15)、砂土(评分20)或砾石含量 <1%(评分1)、1%—14%(评分5)、15%—29%(评分10)、30%—49%(评分15)、≥50%(评分20) |
| 覆沙厚度 | ≥100 cm(评分15)、99—50 cm(评分11)、49—20 cm(评分7.5)、19—5 cm(评分4)、<5 cm(评分1) |
| 地表形态 | 平沙地或沙丘高度≤2 m(评分6)、沙丘高度2.1—5.0 m(评分12.5)、沙丘高度5.1—10 m(评分19)、裸地或沙丘高度>10 m(评分25) |

荒漠化程度分级(各指标评分加和):非荒漠化≤20、轻度25—40、中度41—60、重度61—84、极重度≥85。

1.3.2 土地荒漠化年变化率和年逆转率

土地荒漠化年变化率反映了研究期内土地荒漠化的动态变化^[17]。

$$R = (\sqrt[n]{D/A} - 1) \times 100\% \quad (2)$$

式中： R 为某一地区荒漠化年变化率； n 为测算相隔年限； D 为测算终结年荒漠化土地面积； A 为测算起始年荒漠化土地面积。当某一监测期年变化率为负时，表示逆转，称为逆转率。

1.3.3 灰色关联度分析

尽管本研究选取了大量指标作为驱动草地荒漠化的各类因素，但基于技术手段和收集成本等原因的限制，部分已知或未知的因素未纳入到研究中。而对于已选取的驱动因素，其具体效果也不明确。灰色关联度分析法非常适用于评估这种部分信息已知、部分信息未知的系统^[25]。因此本文应用

$$\delta_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \cdot \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \cdot \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (4)$$

式中： ρ 表示分辨系数，取值范围0—1，以0.2或0.5为佳，本研究中取0.5。 $|x_0(k) - x_i(k)|$ 代表比较数列与参考数列在第 k 期的绝对差值，记为 $\Delta_{0i}(k)$ ； $\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 代表二级最小差，是指在各序列中获得最小差的基础上继续获取所有序列中的极小差值；同样， $\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 代表二级最大差，其求算原理与二级最小差一致。

各因素关联度 r_i 的计算公式如下：

$$r_i = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 \delta_i(k) \quad (5)$$

关联度是比较数列和参考数列对应元素关联系数的均值，能够反映驱动因子与荒漠化综合指数间的关联强度。研究中，选取所有行政区关联度大于0.75的7个因子^[9]，确定为驱动综合指数变化的主导因素。

1.3.4 结构方程模型

基于灰色关联度法筛选出的驱动因素，采用R3.6.2软件PiecwiseSEM程序包psem函数，构建结构方程模型，旨在分析关键驱动因素对草地荒漠化的直接和间接影响，并就这些影响的方向与强度进行解析。思付到量纲差异与数据正态分布的问题，所有变量均进行 $\lg(x+1)$ 对数转化处理。

应用ArcGIS 10.8、Excel 2019和R软件进行图形绘制。

灰色关联度分析法筛选出与荒漠化综合指数(I)关联度较高的因子。

源于各指标间存在量纲差异，因此在进行综合分析之前，需要对各个指标进行标准化处理，本文利用了常见的均值化方法进行处理。

$$x_i(k) = \frac{x'_i(k)}{\frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 x'_i(k)} \quad (3)$$

$$i = 0, 1, \dots, 14; k = 1, 2, 3$$

式中： $x_i(k)$ 表示第 i 个指标第 k 期的无量纲值； $x'_i(k)$ 表示第 i 个指标第 k 期的实际值。

在本研究的时间序列中，将2009—2019年荒漠化综合指数设置为参考数列，将2个自然因子和12个社会因子设置为比较数列（分别记为 $i=1, 2, \dots, 14$ ）。计算出各比较数列与参考数列在各个年度的关联系数 $\delta_i(k)$ ：

2 结果与分析

2.1 河西走廊草地荒漠化现状及其分布特征

2019年河西走廊草地荒漠化面积371.93万 hm^2 ，占河西走廊草地总面积的43.7%（图1、图2）。其中草地荒漠化为轻度的面积是85.20万 hm^2 ，中度243.92万 hm^2 ，重度35.63万 hm^2 ，极重度7.18万 hm^2 （图3）。可以看出，草地荒漠化程度以中度为主，占草地荒漠化总面积的65.58%。草地荒漠化区在酒泉市、张掖市、武威市、金昌市和嘉峪关市的面积依次为255.79万、57.02万、45.55万、18.30万 hm^2 和0.46万 hm^2 。不难发现，酒泉市是草地荒漠化分布最为广泛的行政区，占河西走廊草地荒漠化总面积的67.46%。

河西走廊荒漠化草地面积分布具有明显的地带性特征，表现为自西向东逐渐减少，草地荒漠化主要发生在北部山前倾斜平原和一系列干燥剥蚀低山丘陵低洼处，且呈现出局部集中连片特征（图1），如酒泉市肃北县马鬃山，集中分布着以中度荒漠化为主的草地，酒泉南部至张掖的疏勒河与黑河流域草地荒漠化则是由中度向轻度过渡，重度荒漠化草地主要分布在金昌北部和武威北部，在武威东南部和酒泉中部也有零散分布，极重度荒漠化草地分布则呈现出更明显的局部集中的特征，仅在酒泉西南部和东部、张掖西部与酒泉交界处有分

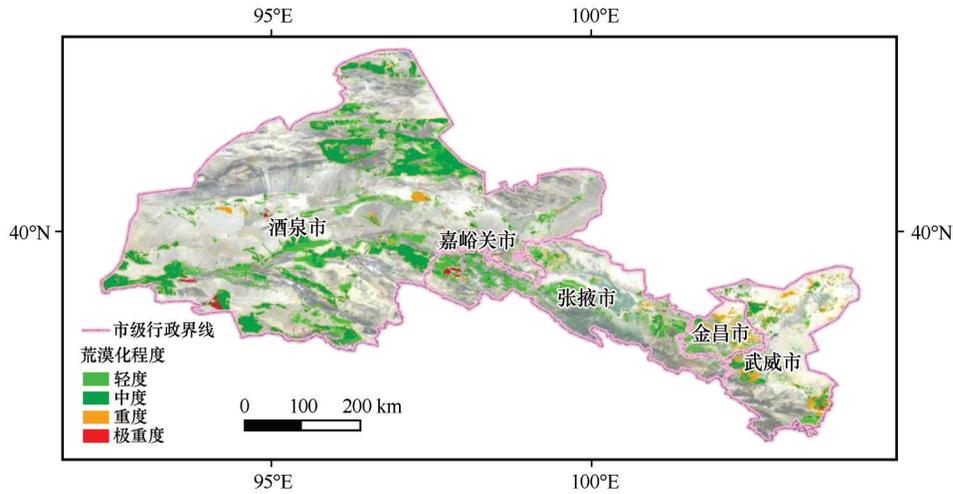


图 1 河西走廊荒漠化草地分布

Fig.1 Distribution of desertified grassland in Hexi Corridor

布。总体来看,河西走廊草地荒漠化呈现出与内陆水系分布密切相关的特点,如在疏勒河流域,草地荒漠化程度随着地表径流减少逐渐加剧,至水系尾间呈现出连续陡变的特征。在离地表水资源较远的区域,重度和极重度荒漠化草地多呈无序分布。

2.2 草地荒漠化面积和程度变化

比较 2009—2019 年 3 期监测数据(图 2、图 3、图 4)发现,草地荒漠化面积减少 134.68 万 hm^2 , 总体趋势为逆转,其中 2009—2014 年间减少 45.38 万 hm^2 , 年逆转率为 1.86%, 2014—2019 年间减少 89.31 万 hm^2 , 年逆转率为 4.21%。前后两个时期,河西走廊草地荒漠化呈现加速逆转的趋势。

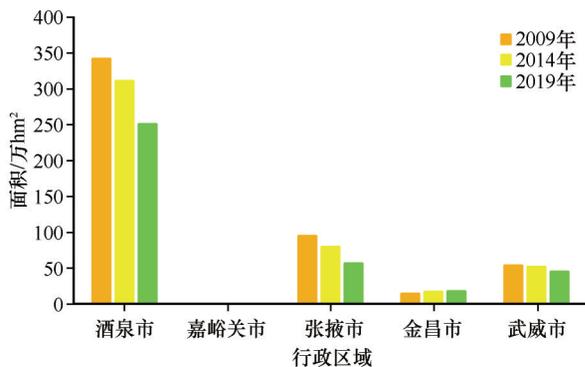


图 2 河西 5 市荒漠化草地总面积

Fig.2 Total area of desertification grassland in each city

就草地荒漠化程度来分析,在 2009—2014 年和 2014—2019 年两个监测期内,荒漠化草地面积轻度分别减少 0.36 万 hm^2 和 54.27 万 hm^2 , 年逆转率依次为 0.05% 和 9.39%; 中度分别减少 47.51 万 hm^2 和

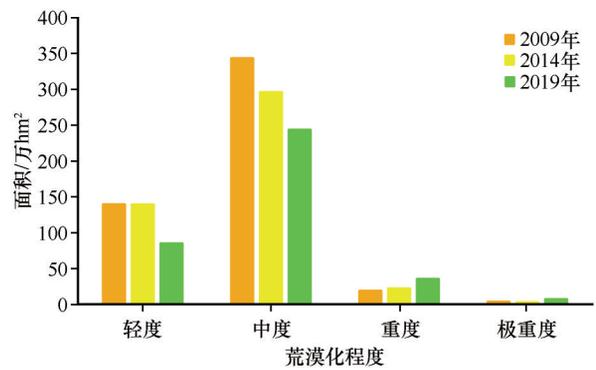


图 3 不同荒漠化程度草地总面积

Fig.3 Total area of desertification grassland with different degrees

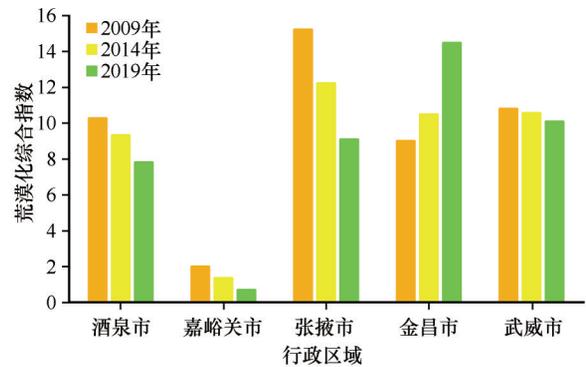


图 4 不同监测期河西 5 市荒漠化综合指数

Fig.4 Composite desertification index of cities in different monitoring period

52.54 万 hm^2 , 年逆转率依次是 2.93% 和 3.83%; 重度分别增加 3.34 万 hm^2 和 13.32 万 hm^2 , 年变化率依次为 3.3% 和 9.81%; 极重度分别减少 0.85 万 hm^2 和增加 4.19 万 hm^2 , 变化方向在两个时期存在差异。进一步研究发现,除金昌市外,其他行政区的荒漠化草地面积和程度变化的规律基本一致,即轻度和中

度大幅减少,重度和极重度略有增加。

监测期内,金昌市荒漠化综合指数逐步上升,表明金昌市草地荒漠化有加剧趋势。其他行政区荒漠化综合指数逐渐下降,表明区域内草地荒漠化得到有效抑制。

2.3 驱动河西走廊草地荒漠化的主要因素

应用灰色关联度法,筛选出了影响草地荒漠化的主要驱动因素(关联度>0.75),分别包括年降水和年均气温2个自然因素及常住人口数、大牲畜存栏

数、羊存栏数、粮食产量和农作物播种面积等5个社会因素(表2)。从驱动因子与河西走廊草地荒漠化的关联强度加权结果来看,关联强度由大到小依次为:年降水量>年均气温>大牲畜存栏数>常住人口数>农作物播种面积>粮食产量>羊存栏数,说明年降水量和年均气温对草地荒漠化的影响大于社会因素;社会因素中,大牲畜存栏数影响强度最明显,常住人口数、农作物播种面积和粮食产量次之,羊存栏数影响程度最低,说明农牧业是影响河西走廊草地荒漠化的主导因素,其中牛等大牲畜的影响尤为突出。

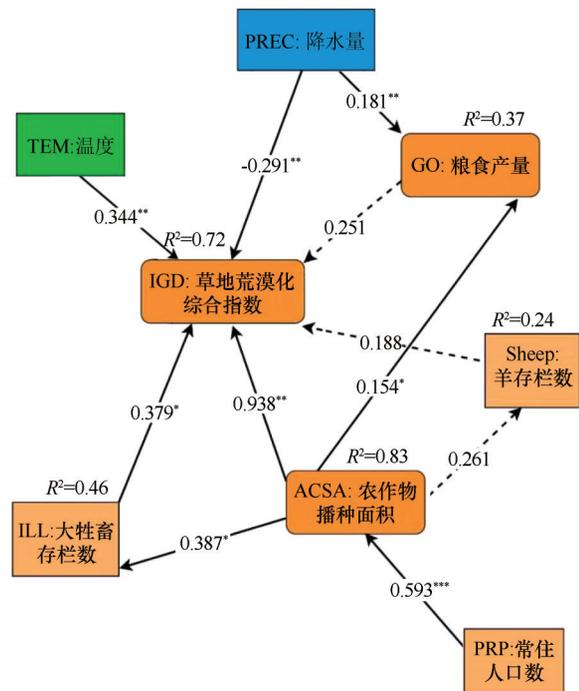
表2 驱动因子与草地荒漠化综合指数的关联度

Table 2 Correlation degree between driving factors and composite index

| 行政区域 | 社会因素 | | | | | 自然因素 | |
|------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | 常住人口数 | 大牲畜存栏数 | 羊存栏数 | 粮食产量 | 农作物播种面积 | 年降水量 | 年均气温 |
| 河西走廊 | 0.8895 | 0.9111 | 0.8260 | 0.8562 | 0.8588 | 0.9255 | 0.9119 |
| 酒泉市 | 0.8884 | 0.9319 | 0.8298 | 0.8613 | 0.8574 | 0.9407 | 0.9197 |
| 嘉峪关市 | 0.8781 | 0.9103 | 0.8345 | 0.9013 | 0.8837 | 0.9141 | 0.9192 |
| 张掖市 | 0.8673 | 0.7893 | 0.7976 | 0.7864 | 0.8246 | 0.8524 | 0.8692 |
| 金昌市 | 0.8869 | 0.9422 | 0.8110 | 0.7946 | 0.8192 | 0.8936 | 0.8858 |
| 武威市 | 0.9216 | 0.9126 | 0.8371 | 0.9150 | 0.9140 | 0.9205 | 0.9104 |

2.4 河西走廊草地荒漠化主要驱动因素的路径过程

依照灰色关联度法,将筛选出的驱动草地荒漠化的7个主要因子作为外生变量或中介变量,可构建以荒漠化综合指数为内生响应变量的结构方程模型(Structural equation model, SEM),以期量化与对比各驱动因素影响草地荒漠化过程的路径及方向。经过多次模型拟合与修正,可获得具有较佳解释效果的SEM(图5: Fisher's $C=19.136$, $P=0.085$, $df=12$),图5反映了不同因子驱动草地荒漠化的直接与间接过程,大牲畜存栏数($P<0.05$)、年均气温($P<0.05$)和农作物播种面积($P<0.01$)对草地荒漠化程度产生直接的显著正效应,年降水量的路径系数为-0.291,负向效应达到显著水平($P<0.01$),说明自然因素中,升温将引起荒漠化加剧,而降水量增加有助于缓解草地荒漠化;社会因素中,农田扩张与大牲畜存栏数增加可能导致草地荒漠化加剧。年降水量和农作物播种面积与粮食产量间存在显著正相关,但羊存栏数和粮食产量的变化对草地荒漠化影响不明显。农作物播种面积与常住人口数能够通过改变大牲畜存栏数和农作物播种面积间接加剧草地荒漠化程度,路径系数分别为0.147



图中实线表示相关性达到显著水平,虚线表示相关性不显著,箭头中间的数值为标准化路径系数,表示变量间的相关强度; R^2 代表内生变量的方差解释率。*: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$

图5 驱动因素影响荒漠化综合指数的结构方程模型
Fig.5 Structural equation modeling showing the effect of driving factors on desertification composite index

(0.387×0.379)和0.556(0.593×0.938)。

3 讨论

草地荒漠化可从多个维度评价,如荒漠化草地面积、荒漠化类型、不同程度荒漠化的比例等。诸多研究通过这些评价指标帮助我们更加全面地认识和量化这一土地退化过程^[17-19,26]。然而,草地荒漠化具有复杂性和不确定性,荒漠化面积和程度间的变化并不是完全同步的,仅应用某单一指标进行荒漠化评价,结论可能并不可靠。例如在自然社会因素未发生明显变化的情况下,通过积极治理轻度荒漠化草地,将有效减少该类型草地面积,尽管其他程度的荒漠化草地面积处于平衡状态,但由于轻度荒漠化在所有荒漠化草地中占比下降,相应地就可能得出荒漠化程度加重的异常结果。因此,本研究完善了技术细则^[24]中的评价标准,提出了草地荒漠化程度综合性评价指数,全面考虑荒漠化草地面积和程度同时变化下的草地荒漠化状态,有效避免了仅评估单一指标可能造成的误判。

监测期内,荒漠化草地的面积、程度和荒漠化综合指数的变化趋势基本一致,即荒漠化草地面积变化总体呈递减趋势,草地荒漠化趋于逆转,个别区域(金昌市)仍有加剧的倾向。这与部分研究中得出的甘肃省荒漠化土地逆转过程缓慢,局部地区仍在恶化的结果相近^[17-19,27]。

草地荒漠化是一个复杂的综合性土地退化过程,驱动其形成和发展的外在营力既有自然因素,亦有人类活动^[28-30]。对于不同的地理单元,草地荒漠化的驱动因子存在差异,这种差异归因于区域间自然环境与社会经济结构的不同。因此,基于深入了解草地荒漠化产生与发展驱动机制的考虑,本研究对驱动因子的作用方向和强度进行了定量分析。年降水量和年均气温对草地荒漠化的影响达到显著水平($P<0.05$),河西走廊地处干旱半干旱气候区,是典型的水分受限生态系统^[31],降水增加能够有效缓解水分短缺对植被生长的抑制作用,为植物种群的定植繁衍提供可能。降水还有助于提高土壤微生物与动物的活性及活动范围^[32],促进植被根系的生长发育,当植物群落结构改善后,通过“肥岛效应”等生物过程,土壤黏粉粒含量增加,有机质和养分逐渐富集,草地荒漠化出现逆转^[33]。气温上升将加大草地下垫面蒸散发强度,水分对植被生长的限制作用加强。草地植被发生逆向演替,风等外在营

力对土壤的侵蚀加剧,养分和黏粒物质逐步减少,草地生态系统物质和能量不断耗散,荒漠化形成与发展^[34]。

社会因素中,农作物播种面积和大牲畜存栏数对荒漠化综合指数影响呈显著正相关($P<0.05$),而地区人口通过影响农作物播种面积间接改变了草地荒漠化。监测期内,当人口增加时,社会对生活资料的需求日益增长,扩大耕地规模成为解决供需矛盾的主要手段,河西走廊地表水资源匮乏,耕地扩张导致区域内地下水超采严重,地表水干涸枯竭,原本稀缺的生态用水更加捉襟见肘,最终造成草地荒漠化加剧。其中的典型区域是民勤县,由于没有自产的地表径流,地表水来自于其他行政区域的石羊河,当上游县区农作物耕种面积增加,农业生产用水剧增,位于下游的民勤县生态用水受到严重挤压^[35],草地荒漠化治理成为无米之炊。过度放牧同样是草地荒漠化发展与扩张的主要社会因素^[35]。一些地区由于盲目开垦,优质草场面积缩小或质量下降,另一方面,牲畜数量却持续增长,畜均占有草地面积不断减少,草地利用强度急剧增大,草地长期超载,草场植被中适口的优质草本(禾本科、莎草科)逐渐退出群落,生产力较低的毒杂草增加明显^[36],同时,在牲畜大量践踏下,表层结皮破碎,造成了草地地表裸露,甚至形成裸露沙地,在风力吹蚀作用下,成为草地风蚀荒漠化的开端^[37]。典型区域有高台县罗成乡等地,由于过度放牧,监测时段内土地荒漠化程度趋于严重。本研究中,草地荒漠化受大牲畜存栏数的负面影响显著($P<0.05$),而与羊存栏数相关性不显著。相关研究表明,相同放牧强度下,对于给定土地利用或覆被类型,单纯放牧绵羊区域的植被生物量明显高于单纯放牧牛的区域^[38]。分析产生这一现象的原因,主要包括3个方面^[39]。一是采食特性,大型牲畜如牛,采取添食的进食方式,导致部分富集于地表的种子被添食,而羊以啃食为主,对地表种子的消耗较小。二是排泄产物的差异,大型牲畜粪量大且集中,不易分解;羊粪体积小且分散,易于分解,利于植被吸收和利用。三是践踏强度不同,由于体重的巨大差异,大型牲畜对植被下垫面的践踏更严重,导致土壤孔隙度减小,容重变大,透水透气性变差,对植被生长造成负面效应。另外,大型牲畜的舔食和践踏更容易直接造成草地地表裸露,成为草地荒漠化形成的重要诱因。

4 结论

河西走廊草地荒漠化威胁持续存在。2019年,荒漠化草地面积为371.93万 hm^2 ,占河西走廊草地总面积的43.7%,国土总面积的17.1%,荒漠化程度以中度荒漠化为主,占比达到65.58%,荒漠化类型以风蚀荒漠化为主,占比81.41%。

2009—2019年,荒漠化草地面积减少134.68万 hm^2 ,趋势为逆转。金昌市草地荒漠化有加剧趋势,其他行政区内草地荒漠化得到了有效遏制,呈加速逆转趋势。

草地荒漠化是自然因素和社会因素共同作用的结果。自然因素中,升温将引起荒漠化加剧,而降水增加有助于缓解草地荒漠化;社会因素中,农田扩张与大牲畜存栏数增加可能导致草地荒漠化加剧,常住人口数能够通过改变农作物播种面积间接影响草地荒漠化进程。

参考文献:

- [1] 王涛.干旱区绿洲化、荒漠化研究的进展与趋势[J].中国沙漠,2009,29(1):1-9.
- [2] 赵哈林,赵学勇,张铜会,等.我国西北干旱区的荒漠化过程及其空间分异规律[J].中国沙漠,2011,31(1):1-8.
- [3] 常影,宁大同.全球气候变化对中国土地荒漠化的影响[J].地学前缘,2002,9(1):244.
- [4] Zhang R Y, Wang Z W, Han G D, et al. Grazing induced changes in plant diversity is a critical factor controlling grassland productivity in the Desert Steppe, Northern China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2018, 26(5): 73-83.
- [5] Cui Y X, Fang L C, Guo X B, et al. Responses of soil microbial communities to nutrient limitation in the desert-grassland ecological transition zone[J]. Science of the Total Environment, 2018, 64(2): 42-55.
- [6] Isselstein J, Griffith B A, Pradel P, et al. Effects of livestock breed and grazing intensity on biodiversity and production in grazing systems. 1. Nutritive value of herbage and livestock performance[J]. Grass and Forage Science, 2007, 62(2): 145-158.
- [7] 王新源,马仲武,王小军,等.不同沙化阶段高寒草甸植物群落与表土环境因子的关系[J].生态学报,2020,40(19):6850-6862.
- [8] Li X L, Yuan Q H, Wan L Q, et al. Perspectives on livestock production systems in China[J]. Rangeland Journal, 2008, 30(2): 211-220.
- [9] 王新源,刘世增,陈翔舜,等.河西走廊绿洲面积动态及其驱动因素[J].中国沙漠,2019,39(4):212-219.
- [10] 崔丹丹,张耀南,陈广庭.2001-2010年甘肃省植被覆盖的时空变化[J].中国沙漠,2014,34(4):1161-1166.
- [11] 吕子君,卢欣石.甘肃河西走廊草地沙质荒漠化监测与治理对策[J].江西农业大学学报,2005,27(3):365-370.
- [12] 常兆丰.甘肃河西60年防沙治沙的问题及出路[J].干旱区资源与环境,2019,33(9):152-159.
- [13] Luo W C, Zhao W Z, He Z B, et al. Spatial characteristics of two dominant shrub populations in the transition zone between oasis and desert in the Heihe River Basin, China[J]. Catena, 2018, 170: 356-364.
- [14] Zhou H, Zhao W Z, He Z B, et al. Variation in depth of water uptake for *Pinus sylvestris* var. *mongolica* along a precipitation gradient in sandy regions[J]. Journal of Hydrology, 2019, 577: 123921.
- [15] Liu H, Zhao W Z, Yang Y, et al. Modeling the physiological responses of a desert shrub to rainfall pulses in an arid environment in northwestern China[J]. Journal of Arid Environments, 2020, 183: 104277.
- [16] 高志海,丁峰,魏怀东.甘肃河西地区土地荒漠化的现状、成因及其防治[J].自然灾害学报,2001,10(4):70-75.
- [17] 马仲武,王新源,王小军,等.甘肃省酒泉市土地沙漠化现状及动态分析[J].中国农业资源与区划,2018,39(3):141-147.
- [18] 王小军,陈翔舜,魏金平,等.甘肃省2004-2009年土地沙漠化时空变化分析[J].中国沙漠,2013,33(1):33-37.
- [19] 尚立照,陈翔舜,王小军,等.基于RS和GIS的敦煌市沙漠化动态监测[J].水土保持通报,2016,36(2):125-128,135.
- [20] 孔君治,杜泽玉,杨荣,等.黑河中游土地利用/覆被变化及其对碳储量影响的预测[J].中国沙漠,2019,39(3):87-97.
- [21] Zhang Y Y, Zhao W Z, Fu L, et al. Land use conversion influences soil respiration across a desert-oasis ecoregion in Northwest China, with consideration of cold season CO_2 efflux and its significance[J]. Catena, 2020, 188: 104460.
- [22] 董安祥,方锋,张宇,等.河西走廊大风持续时间的气候特征[J].干旱气象,2014,32(4):576-581.
- [23] 邵梅,马立鹏,王新源,等.2004-2014年河西走廊荒漠化草地生态系统服务价值估算[J].中国沙漠,2022,42(3):63-73.
- [24] 甘肃省林业厅.甘肃省荒漠化和沙漠化监测技术细则[Z].2014.
- [25] Tang Q Y, Zhang C X. Data Processing System (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research[J]. Insect Science, 2013, 20(2): 254-260.
- [26] 魏伟,俞啸,张梦真,等.1995-2018年石羊河流域下游荒漠化动态变化[J].应用生态学报,2021,32(6):2098-2106.
- [27] 石建忠,陈翔舜,张龙生,等.甘肃省土地荒漠化状况及分析[J].环境科学学报,2006,26(9):1539-1544.
- [28] 张钛仁,张玉峰,柴秀梅,等.人类活动对我国西北地区沙质荒漠化影响与对策研究[J].中国沙漠,2010,30(2):228-234.
- [29] 陈英玉,王永贵,周向阳.黄河源区荒漠化现状及其驱动力研究[J].青海大学学报(自然科学版),2008,26(4):71-76,80.
- [30] 张希彪,张多勇,上官周平,等.1949-2013年甘肃省环县土地沙漠化驱动因素研究[J].干旱区资源与环境,2016,30(1):130-135.
- [31] 姚俊强,杨青,刘志辉,等.中国西北干旱区降水时空分布特征[J].生态学报,2015,35(17):5846-5855.
- [32] 王新源,赵学勇,李玉霖,等.环境因素对干旱半干旱区凋落

- 物分解的影响研究进展[J].应用生态学报,2013,24(11):3300-3310.
- [33] 瞿王龙,杨小鹏,张存涛,等.干旱、半干旱地区天然草原灌木及其肥岛效应研究进展[J].草业学报,2015,24(4):201-207.
- [34] 郑伟,朱进忠.新疆草地荒漠化过程及驱动因素分析[J].草业科学,2012,29(9):1340-1351.
- [35] 王小军,陈翔舜,刘晓荣,等.河西走廊区沙漠化年度趋势变化分析研究[J].甘肃科技,2014,30(9):1-4,23.
- [36] Dai L C, Fu R Y, Guo X W, et al. Long-term grazing exclusion greatly improve carbon and nitrogen store in an alpine meadow on the northern Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Catena*, 2021, 197: 104955.
- [37] 王力,李天玲.河西地区土地荒漠化现状与成因分析[J].青海气象,2004,16(1):45-51.
- [38] 鱼小军.牦牛粪维系青藏高原高寒草地健康的作用机制[D].兰州:甘肃农业大学,2010.
- [39] 王新源,连杰,杨小鹏,等.玛曲县植被覆被变化及其对环境要素的响应[J].生态学报,2019,39(3):923-935.

Dynamic characteristics and driving factors of grassland desertification in Hexi Corridor

Cheng Xiaoyun¹, Zhang Qin¹, Lan Fangfang¹, Li Yuan¹, Han Yaxuan²,
Zhang Limin¹, Yang Yanke³, Wang Xinyuan¹

(1. Gansu Monitoring Center for Ecological Resources / Gansu Institute of Forestry Survey and Planning, Lanzhou 730020, China; 2. Forestry Sci-tech Extension Station of Gansu Province, Lanzhou 730046, China; 3. Bailongjiang Forestry Ecological Monitoring and Investigation Planning Institute of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Grassland desertification is the main ecological problem in Hexi Corridor. Therefore, exploring the status and changes of grassland desertification in the Hexi Corridor is the key to maintain regional ecological security and ensure healthy and stable economic and social development. Based on the three national desertification monitoring data in 2009, 2014 and 2019, and combined with the meteorological and yearbook data of the same period, our study analyzed the rule of dynamic changes of grassland desertification in the Hexi Corridor by applying trend analysis, grey correlation and structural equation modeling, and on this basis, the factors driving grassland desertification were quantified. The results show that: (1) The threat of grassland desertification persists in the Hexi Corridor region. In 2019, the desertified grassland area was 3.7193 million hm², accounting for 43.7% of the total grassland area in the Hexi Corridor, and the degree of desertification was mainly moderate, accounting for 65.58% of the total desertification grassland. (2) From 2009 to 2019, the area of desertified grassland decreased by 1.3468 million hm², and the grassland desertification tended to be reversed. The comprehensive evaluation index of grassland desertification degree showed that, except for Jinchang City, the grassland desertification in Jiuquan City, Jiayuguan City, Zhangye City and Wuwei City showed reversing trend. (3) Among the driving factors that cause the dynamic changes of grassland desertification, the increase of precipitation is helpful for the reversal of desertification. Among them, temperature, crop sown area, number of large livestock, and permanent population are positively correlated with grassland desertification, and the permanent population indirectly promote the exacerbation of grassland desertification by affecting the sown area of crops.

Key words: Hexi Corridor; grassland desertification; status and changes; driving factors