

吉林省辽源市自然系统脆弱性仿真研究

卢万合,刘家福,董阿丹,左胜杰

(吉林师范大学旅游与地理科学学院,吉林四平 136000)

摘要:提出了自然系统脆弱性仿真分析框架,并对 1990—2010 年吉林省辽源市自然系统脆弱性进行了定量评价,在对辽源市自然系统仿真分析的基础上,对 2011—2030 年辽源市自然系统脆弱性进行再评价。结果表明:辽源市自然系统脆弱性呈现反复震荡的发展态势;2011—2030 年辽源市自然系统脆弱性呈总体上升趋势;并提出辽源市自然系统脆弱性调控若干策略。

关键词:脆弱性;自然系统;仿真;评价;辽源市

中图分类号: X24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)09-0336-03

脆弱性方法已经在诸多学科被广泛运用,其概念因研究领域不同而有很大差异^[1]。脆弱性概念最早来源于自然灾害研究,在该领域脆弱性被定义为“个人或者团体依据他们预见、应付、抵抗及修复自然灾害所造成影响的能力的特征”。从 20 世纪 90 年代起,自然灾害研究者开始关注人类对环境改变影响的脆弱性,尤其是气候变化的影响^[2]。脆弱性评价是自然系统脆弱性研究的重要内容,目前关于脆弱性评价研究的一般范式为“脆弱性-调控策略”,调控策略是在脆弱性评价的基础上提出的,目的是降低系统的脆弱性水平,然而这些调控策略是否有效仍未知。本研究以吉林省辽源市为对象,在脆弱性评价研究范式基础上增加系统仿真过程,进而进行脆弱性再评价,以期使自然系统脆弱性调控策略更有针对性、更科学。

1 自然系统脆弱性仿真分析框架

Turner 等一直致力于脆弱性分析框架的研究工作,在 RH 分析框架、PAR 分析框架的基础上,提出了完整的脆弱性分析框架^[3]。自然系统脆弱性仿真分析框架是在传统分析框架基础上增加了系统仿真过程(图 1)。

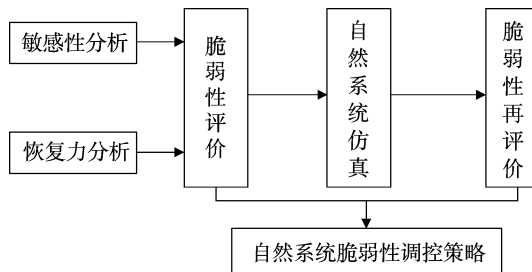


图1 自然系统脆弱性仿真分析框架

收稿日期:2013-03-03

基金项目:吉林省教育厅“十二五”科学技术研究项目(编号:2012480);吉林省社会科学基金(编号:2011B336);吉林省自然科学基金(编号:201215224);吉林省四平市社会科学基金(编号:201118)。

作者简介:卢万合(1981—),男,吉林榆树人,博士,讲师,主要从事人文地理学研究。E-mail:jlsdlwh@163.com。

2 1990—2010 年吉林省辽源市自然系统脆弱性评价

目前有关脆弱性评价的方法很多^[4]。本研究采用层次分析法(AHP)与熵权法相结合的方法。层次分析法的实质是一种主观赋权法,熵权法是一种客观赋权法。实际应用中,由于客观因素的复杂性、不确定性,不容易对因素的相对重要性作出精确判断,并且由于没有充分考虑各指标提供的信息量,人为给出的权重难免缺乏科学依据。由熵权法得出的权重独立于人的主观偏好和经验,克服了主观赋权法的不足。

2.1 评价指标体系

采用两步识别的方法进行评价指标识别。第一步,根据辽源市自然系统脆弱性的特征,并结合以往研究结果^[4-8],全面识别辽源市自然系统的敏感性和恢复力的影响因素。按对脆弱性作用力的方向可将自然脆弱性影响因素具体划分为敏感性影响因素和恢复力影响因素,其中敏感性影响因素对于系统脆弱性具有正向作用力,即敏感性因素能够使系统脆弱性呈逐渐增强的态势,而恢复力影响因素则与其相反,能使系统脆弱性向逐步降低的方向发展,甄别影响因素对脆弱性作用力的方向主要是基于其对脆弱性特征趋势的影响,使脆弱性作用趋势增强的因素即为敏感性因素,反之则为恢复力因素,对脆弱性特征趋势无明显影响的因素则被排除在识别因素以外。第二步是利用 DEMATEL 分析方法,综合专家智慧,明确这些影响因素的相互关系,并确定每个影响因素对系统脆弱性的影响程度。DEMATEL 分析法的具体步骤为:确定影响因素的相互关系(本研究分别将 0、1、2、3 定义为无影响、影响低、影响中、影响强);构建各因素间的直接影响矩阵;计算综合影响矩阵;计算影响因素的中心度和原因度^[9-11]。DEMATEL 法的特色之一就是充分发挥专家的能动性,充分利用其智慧和经验,本研究初步识别出辽源市自然系统脆弱性的影响因素后,制定并发放了 30 份问卷,发放对象主要为脆弱性理论及实践领域的研究人员(包括部分博士研究生)以及对辽源市情况较了解的政府工作人员,共收回有效问卷 27 份,问卷回收率达 90%,最终构建了辽源市自然系统脆弱性评价指标体系(表 1)。

2.2 指标权重的确定

2.2.1 基于层次分析法的指标权重确定 为了使构建出的

表 1 辽源市自然系统脆弱性评价指标体系

目标层 A	准则层 B	指标层 C
自然系统脆弱性 A	系统敏感性 B ₁	工业 SO ₂ 排放量 C ₁₁ ; 工业固体废弃物产生量 C ₁₂ ; 水土流失面积 C ₁₃ ; 工业废水排放量 C ₁₄ ; 烟尘排放量 C ₁₅ ; 化肥使用量 C ₁₆
	系统恢复力 B ₂	人均环境建设资金 C ₂₁ ; “三废”产品综合利用产值 C ₂₂ ; 人均耕地面积 C ₂₃ ; 工业固体废弃物综合利用率 C ₂₄ ; 工业废水达标率 C ₂₅ ; 建成区绿化率 C ₂₆ ; 人均水资源 C ₂₇ ; 森林覆盖率 C ₂₈ ; 废气治理设备处理能力 C ₂₉

判断矩阵自然满足一致性的要求,本研究采用两阶段方法构建判断矩阵^[12]。第一阶段运用三标度法(0,1,2)对同层元素进行比较,构建辽源市自然系统的敏感性及恢复力比较矩阵 A(A=[a_{ij}]_{7×7})、B(B=[b_{ij}]_{9×9}),并计算出每个元素的重要性排序指数。关于元素间重要性排序仍然采用专家打分的方法,制定并发放了 30 份问卷,发放对象主要为脆弱性理论与实践领域的研究人员(包括部分博士研究生)以及对辽源市发展较了解的政府工作人员,共收回有效问卷 27 份,问卷回收率达 90%。采取多数原则确定其相对重要程度,将专家选择最多的元素确定为矩阵的元素,此处的 27 名专家与影响因素识别阶段的 27 名专家是一致的。第二阶段运用极比法构建吉林省辽源市自然系统的敏感性及恢复力判断矩阵 C(C=[c_{ij}]_{7×7})、D(D=[d_{ij}]_{9×9}),并进行一致性检验,最终求出指标权重 W'_j^[13]。

2.2.2 基于熵权的权重 信息熵定义为:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^m p(x_i) \ln p(x_i) \tag{1}$$

式中:H(x)为信息熵,p(x_i)为指标 x_i 出现的概率。

表 3 辽源市自然系统恢复力综合权重

项目	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅	C ₂₆	C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉
nrW' _j	0.210	0.012	0.037	0.099	0.111	0.136	0.086	0.160	0.148
nrW'' _j	0.106	0.107	0.104	0.118	0.115	0.117	0.118	0.114	0.101
nrW _j	0.210	0.012	0.037	0.099	0.111	0.136	0.086	0.160	0.148

脆弱性值的计算公式为:

$$V_n = S_n / R_n \tag{7}$$

2.3 辽源市自然系统脆弱性评价

根据辽源市历年统计年鉴资料,对 1990—2010 年辽源市自然系统脆弱性进行评价(表 4)。

1990—2010 年间辽源市自然系统脆弱性呈现反复震荡的发展态势,最大值出现在 1990 年,其次是 2008 年,最小值出现在 2001 年,最大值与最小值之间仅相差约 4 倍。1990—2010 年间辽源市自然系统脆弱性的值可以划分为 2 个阶段:从 1990 年至 2001 年,辽源市自然系统脆弱性总体上呈震荡减弱的趋势,其中 1990 年出现最大值,1991—2001 年辽源市自然系统脆弱性的值反复震荡,各年间脆弱性值相差不大,其变化趋势的规律性不强,其中 1994 年是该阶段脆弱性值的最低点;从 2002 年至 2010 年,辽源市自然系统脆弱性呈现震荡增强的趋势,其中 2002—2008 年间脆弱性值呈持续增强的趋势,2009 年小幅回落,至 2010 年又呈现增强的趋势。辽源市自然系统脆弱性的评价结果与辽源市经济转型发展过程较为一致。转型前期,由于该地区煤炭资源枯竭,煤炭产业没落,

一般在决策中某项指标值效用数值越大,信息熵 H(x) 越小,该指标提供的信息量越大,其权重也应越大;反之若某项指标值的效用值越小,该指标权重也应越小。熵权系数法的步骤主要包括:(1)计算第 j 项指标第 i 年的指标值比重,见公式(2);(2)计算第 j 项指标的信息熵,见公式(3);(3)计算第 j 项指标的效用值,见公式(4);第四步,计算第 j 项指标的权重,见公式(5)^[14]。

$$p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij} \tag{2}$$

$$E_j = - (\ln m)^{-1} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \tag{3}$$

$$D_j = 1 - E_j, (1 \leq j \leq n) \tag{4}$$

$$W''_j = D_j / \sum_{j=1}^n D_j \tag{5}$$

式中:x_{ij}为 j 项指标第 i 年的值,p_{ij}为 x_{ij}出现的概率,m 为评价对象数,E_j为第 j 项指标的信息熵,n 为评价指标数,D_j为第 j 项指标的效用值,W''_j第 j 项指标的权重值。若 p_{ij}=0,则 p_{ij} ln p_{ij}=0。

将 AHP 法和熵权法的结果相结合,得到综合考虑主观、客观因素的指标权重向量:

$$W_j = a W'_j + (1 - a) W''_j \tag{6}$$

式中:W'_j为层次分析法计算出的权重,W''_j为熵权指数法计算出的权重,W_j为综合权重,a 的取值依具体情况而定^[15]。计算得到辽源市自然系统脆弱性指标权重(表 2、表 3)。

表 2 辽源市自然系统敏感性综合权重

项目	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆
nsW' _j	0.306	0.083	0.139	0.028	0.194	0.250
nsW'' _j	0.171	0.161	0.154	0.182	0.166	0.166
nsW _j	0.306	0.083	0.139	0.028	0.194	0.250

其对辽源市自然系统的扰动效应逐步减轻,自然系统脆弱性指数表现为逐渐减小的趋势;转型后期,由于接续产业逐步发展壮大,辽源市经济呈现快速发展的局面,其对自然系统的扰动效应逐步增强,脆弱性指数也随之增加。

辽源市自然系统敏感性呈反复震荡的趋势,其中最大值出现在 2010 年,最小值出现在 2001 年,前者是后者的 4.5 倍,具体来说又可以划分为 2 个阶段,并且这 2 个阶段与辽源市自然系统脆弱性的阶段较为一致。1990—2001 年,自然系统敏感性的值呈现震荡下行的趋势,其中在 1995 年、1997 年、1999 年小幅上升,总体来看,该阶段辽源市自然系统敏感性除 1990 年明显较高外,基本呈来回震荡的趋势,各年间敏感性的值相差不大。2002—2010 年,敏感性呈稳步上升的趋势,其中 2009 年小幅回落,结合前文可知,辽源市接续产业的快速发展以及生活污染日趋严重是引起该阶段自然系统敏感性变化趋势的原因。

1990—2010 年辽源市自然系统恢复力基本上呈现震荡增强的发展趋势,其中最大值出现在 2010 年,最小值出现在 1995 年,前者仅是后者的 2 倍,由于各年间恢复力的值均相

表 4 1990—2010 年辽源市自然系统脆弱性评价结果

年份	S_n	R_n	V_n
1990	0.089	0.036	2.441
1991	0.029	0.027	1.046
1992	0.029	0.033	0.883
1993	0.028	0.027	1.026
1994	0.023	0.037	0.626
1995	0.038	0.024	1.565
1996	0.031	0.031	0.980
1997	0.035	0.026	1.321
1998	0.024	0.033	0.723
1999	0.037	0.044	0.845
2000	0.031	0.041	0.754
2001	0.021	0.042	0.504
2002	0.030	0.046	0.655
2003	0.029	0.034	0.850
2004	0.059	0.044	1.350
2005	0.071	0.049	1.436
2006	0.069	0.039	1.792
2007	0.076	0.034	2.226
2008	0.084	0.036	2.296
2009	0.074	0.052	1.414
2010	0.096	0.055	1.752

注: S_n 为辽源市自然系统敏感性值, R_n 为辽源市自然系统恢复力值, V_n 为辽源市自然系统脆弱性值。下同。

差不大,所以没有必要去将其发展趋势分段分析,正是由于辽源市自然系统恢复力这种相对稳定的状态,造成了辽源市自然系统脆弱性与敏感性发展趋势的相似性。

3 辽源市自然系统仿真与脆弱性再评价

3.1 辽源市自然系统仿真

辽源市自然系统仿真的空间边界是整个辽源市域范围,所有仿真变量均须要在此空间边界内发生作用,即便部分变量来自该空间外,也遵循这一边界约束。为遵循本研究目的,将辽源市自然系统仿真的时间界限限定为 2030 年,因系统仿真采用趋势外推方式进行,外推参数时间为 2005—2010 年,故而辽源市自然系统仿真的时间边界为 2005—2030 年。通过构建辽源市自然系统 SD 模型,运用 Vensim PLE 软件进行仿真,限于篇幅,具体过程与结果不再赘述。

3.2 辽源市自然系统脆弱性再评价

根据仿真辽源市自然系统结果,运用前述方法,对 2011—2030 年辽源市自然系统脆弱性进行再评价(表 5)。由表 5 可见,2011—2030 年辽源市自然系统脆弱性总体上呈上升趋势,最大值出现在 2030 年,最小值出现在 2011 年,仅在 2028 年呈微幅下降,可见辽源市经济转型后高速发展,但辽源市的经济发展情况通过系统的耦合作用传导到辽源市自然系统,客观上造成了其自然系统脆弱性的持续升高,这既与我国整体经济发展模式有关,又受到辽源市接续产业的选择及环境治理工作滞后的影响,采取有效措施降低辽源市自然系统的脆弱性成为当下辽源市自然系统调控的重点内容。

2011—2030 年辽源市自然系统敏感性呈现持续升高趋势,最大值出现在 2030 年,最小值出现在 2011 年,可见辽源

表 5 辽源市自然系统脆弱性再评价结果

时间(年)	S_n	R_n	V_n
2011	0.155	0.126	1.234
2012	0.157	0.126	1.246
2013	0.159	0.126	1.258
2014	0.161	0.127	1.269
2015	0.163	0.128	1.275
2016	0.165	0.128	1.285
2017	0.167	0.129	1.295
2018	0.170	0.130	1.308
2019	0.172	0.131	1.317
2020	0.175	0.132	1.321
2021	0.178	0.134	1.328
2022	0.181	0.135	1.335
2023	0.184	0.137	1.342
2024	0.187	0.139	1.342
2025	0.191	0.142	1.347
2026	0.194	0.144	1.350
2027	0.198	0.146	1.353
2028	0.202	0.150	1.350
2029	0.207	0.153	1.353
2030	0.211	0.156	1.352

市工业排放持续升高是造成自然系统敏感性升高的主要原因,城市生活污水排放、农业生产等也必须成为自然系统敏感性调控的重点。

辽源市自然系统恢复力总体运行趋势呈现平稳上升态势,其中最大值出现在 2030 年,最小值出现在 2011 年,各年间恢复力的值差异很小。

4 辽源市自然系统脆弱性调控策略

辽源市自然系统脆弱性受到辽源市经济发展的制约,转型前期煤炭产业是辽源市自然系统脆弱性的重要扰动因素,转型以后接续产业成为辽源市自然系统脆弱性持续升高的主要原因。因此,不断优化产业结构,适时发展低污染、低排放的接续产业是辽源市下一阶段经济发展的首选任务,也是降低辽源市自然系统脆弱性的有效途径。例如可以充分利用辽源市原有产业遗存,发展工业遗址旅游等。此外,必须不断加大环境治理的投资力度^[16],加大工业排放的监管力度,健全环境治理和保护法律体系^[17]。

城市生活污水排放、农业生产也是造成辽源市自然系统敏感性升高的主要原因,因此辽源市还须要加大环境保护宣传力度,使人们逐渐认识到环境保护的重要性,自觉成为环境保护者,自觉树立生态文明观,自发培养与自然和谐相处的意识和能力。倡导正确的生活方式,即由多元主体共同参与“绿色”管理,建立健全公众参与机制,使人与自然和谐发展具有浓厚的群众基础,建立环保问题公众听政会制度的公众参与活动,充分调动广大群众参与生态和环境建设的积极性^[17]。

参考文献:

[1] Gallopin G. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity[J]. Global Environmental Change,2006,16(3):293-303.

冯涛,于玮玮,李慧,等. 草木间作对滨海盐渍土盐分积累和酸碱度的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(9):339-341.

草木间作对滨海盐渍土盐分积累和酸碱度的影响

冯涛¹, 于玮玮¹, 李慧¹, 郑润芳², 崔健², 刘洪岑², 彭立新¹

(1. 天津农学院园艺系, 天津 300384; 2. 天津市大港农业服务中心, 天津 300270)

摘要:研究红花+杜梨、胡卢巴+沙枣、红花+沙枣、红花等 4 种植物方式下土壤的全盐、 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量及 pH 值的情况。结果表明, 木本植物沙枣、杜梨与草本植物红花、胡卢巴间作可以有效降低 0~50 cm 土壤全盐含量、pH 值, 降低 Na^+ 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 含量。红花+杜梨间作和红花处理改良滨海盐渍土效果较好。

关键词:草木间作; 盐渍土; 脱盐率; 土壤改良; 酸碱度

中图分类号: S156.4⁺2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)09-0339-03

我国各类盐渍土面积约 3 600 万 hm^2 ^[1], 仅天津市盐渍化土壤面积已达 44 万 hm^2 , 属于滨海盐渍土类型。盐渍化土壤孔隙度减小, 土壤易板结, 透水、透气性变差; 土壤有机质含量下降, 碳、氮矿质化程度降低, 导致土壤肥力下降。土壤中过量的盐分离子对植物的生殖生长和营养生长有抑制作用, 一些离子还可以对植物直接进行毒害, 导致植物形态结构发生变化。植物在长期进化过程中, 对盐分胁迫也有一些应对措施, 如拒盐、稀盐、排盐等, 以减少盐分对自身的危害。在人口不断增长、耕地逐渐减少的情况下, 改良利用盐渍地具有重

要意义。改良盐渍地的方法包括物理改良、化学改良、综合措施、生物改良等^[2]。前 3 种方法多偏重于工程措施, 虽有一定效果, 但是费用昂贵、效果难以持久。生物改良盐渍地是指在常规灌溉条件下, 将耐盐植物直接种植在盐渍地上, 增加地面覆盖以减少地表蒸发, 促进耕作层盐分淋溶, 既可遏制土地盐渍化, 又可改变土壤结构、改善土壤理化性质。目前, 生物改良主要选用牧草、中药材或多年生木本植物^[3], 尚未见到关于草木间作改良盐渍土的报道。笔者利用深根性木本植物沙枣、杜梨与浅根性草本植物红花、胡卢巴进行间作, 进行滨海盐渍土改良, 取得了一定效果。沙枣生长快, 根系发达, 具根瘤, 耐盐、耐旱, 素有“沙漠之宝”的美称, 果实含有丰富的有机酸、游离氨基酸、维生素和矿物质, 不仅营养丰富, 而且具有防病保健功能, 在我国很早就被作为中药材。杜梨抗逆性强, 是常用的梨砧木。红花耐盐、耐贫瘠, 适应性强, 应用价值较高, 集药用、食用、染料、油料、饲料为一体。其花瓣是重要的药用和色素原料, 含有黄酮类物质和红花黄色素。种子是优良的油料资源, 含有人体必需的不饱和脂肪酸(亚油酸)和抗

收稿日期: 2013-03-19

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 30671440); 天津市科委星火项目(编号: 10ZXHNC05800); 天津市农业科技成果转化与推广项目(编号: 0802210)。

作者简介: 冯涛(1978—), 男, 山东鄄城人, 博士, 副教授, 主要从事耐盐植物利用与盐碱地改良研究。E-mail: tkfg@163.com。

通信作者: 彭立新, 博士, 教授, 主要从事植物生物技术及生态恢复研究。E-mail: penglixin@tjau.edu.cn。

[2] Janssen M A, Schoon M L, Ke W, et al. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change [J]. Global Environmental Change, 2006, 16(3): 240-252.

[3] Turner B L, Kasperson R E, Matson P A, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(14): 8074-8079.

[4] 孙平军. 矿业城市经济发展脆弱性及发展策略研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2010: 1-55.

[5] 李鹤. 东北地区矿业城市人地系统脆弱性评价与调控研究[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2009: 1-164.

[6] 王洪秀, 孙占东, 王润. 博斯腾湖湿地生态脆弱性评价研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(2): 248-254.

[7] 陈润洋, 徐卫东. 典型矿业城市生态环境脆弱性评价[J]. 采矿技术, 2007, 7(01): 37-39.

[8] 吴玮. 中国主要城市群人地系统脆弱性评价[D]. 长春: 东北师范大学, 2010: 1-43.

[9] 梁钰锟, 马振东. 基于 DEMATEL 法的基础工程施工风险分析

[J]. 工程管理学报, 2010, 24(2): 164-167.

[10] 李洪伟, 周德群, 章玲. 运用 DEMATEL 方法及交叉增援矩阵法对层次分析法的改进[J]. 统计与决策, 2006(8): 10-11.

[11] 马飞, 陈宏军, 杨华. 基于 DEMATEL 方法的绿色供应链关键绩效评价指标选择[J]. 吉林大学社会科学学报, 2011, 51(6): 126-131.

[12] 孙家乐, 蒋德鹏. 层次分析法中一致判断矩阵的构造方法[J]. 东南大学学报, 1991, 21(3): 69-75.

[13] 朱茵, 孟志勇, 阙叔愚. 用层次分析法计算权重[J]. 北方交通大学学报, 1999, 23(5): 119-122.

[14] 谢赤, 钟赞. 熵权法在银行经营绩效综合评价中的应用[J]. 中国软科学, 2002(9): 107-110.

[15] 李旭宏, 李玉民, 顾政华, 等. 基于层次分析法和熵权法的区域物流发展竞争态势分析[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2004, 34(3): 398-401.

[16] 那伟. 辽源市人地系统脆弱性与可持续发展研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2008: 1-145.

[17] 卢万合, 刘继生, 那伟. 经济转型期矿业城市自然系统脆弱性的评价与调控——以吉林省辽源市为例[J]. 广东农业科学, 2012(2): 123-125.