

连芳, 张峰, 王静爱. 滨海盐碱区盐渍化威胁下的土地利用脆弱性评价——以河北省黄骅市为例[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 209–215. [Lian Fang, Zhang Feng and Wang Jing'ai. Landuse vulnerability assessment of salinization in coastal saline region——A case study of Huanghua City, Hebei Province [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(4): 209–215.]

滨海盐碱区盐渍化威胁下的土地利用脆弱性评价 ——以河北省黄骅市为例*

连芳^{1,2}, 张峰^{1,2,3}, 王静爱^{1,2,3}

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 北京师范大学 区域地理实验室, 北京 100875; 3. 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)

摘要: 盐渍化会造成土地功能下降, 影响生态环境稳定性, 评价盐渍化威胁下土地利用的脆弱性成为环境风险评价的重要问题之一。以滨海盐碱区黄骅为例, 研究了土地利用变化与盐渍化致灾危险性关系, 并构建了各土地利用盐渍化脆弱性曲线。结果表明: ①1988–2009年间, 主要土地利用类型退化为盐荒地的面积比重分别为建设用地21%、耕地19%和沼泽16%; ②盐渍化致灾危险总体上从西南内陆向东北沿海逐渐上升; ③根据土地利用盐渍化脆弱性曲线, 脆弱性由高到低依次为盐田、耕地、建设用地、水域和沼泽, 脆弱性越高, 土地越容易发生退化。本研究可以为盐渍化风险评价和土地利用优化模式提供参考。

关键词: 土地利用; 盐渍化; 危险性; 脆弱性; 河北黄骅

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2015)04–0209–07

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.04.036

土壤盐渍化是指土壤中的可溶性盐过多地在土壤耕层及表层累积, 是土地退化的表现之一^[1]。盐渍化造成土地功能下降, 导致灌溉区中农业减产, 制约着农业发展和粮食生产^[2], 因此盐渍化风险评价成为生态环境问题的研究热点。基于区域灾害系统理论, 致灾因子危险性和承灾体脆弱性的刻画是风险评价的基础^[3–4]。

在评价盐渍化危险性时, 学者们通常从影响因素中选择相应的指标进行综合评价。一般认为, 土壤的属性是导致盐渍化的关键因素, 因此, 土壤含盐量是确定土壤盐渍化程度的核心指标^[5], 也可以用土壤电导率表示^[6–7]。强烈的蒸散作用对水盐运动造成的影响, 使得盐分在土壤水和地表的浓度增加^[8–9], 因此, 多年平均蒸散量也是评价盐渍化危险性的重要指标。地下水对盐渍化的影响可从两方面来刻画: ①水位深度, 当土地所处的含水层浅且半封闭时, 土壤表层排水受到向上的水压所影响, 会加速盐渍化的发生^[10]; ②地下水矿化度, 它与灌溉相关, 当区域以灌溉农业为主时, 用以灌溉的地下水的品质则会影响土壤的

质地, 长期不当灌溉会加剧盐渍化的危险性^[11]。由于数据获取的局限性和模型参数的有效性, 有些学者会选择不同的指标对区域盐渍化危险性进行评价。有的学者以土壤是否为盐渍土和地下水水位的深浅来判断区域的盐渍化危险程度^[12]; 有的学者不仅考虑了土壤和气候属性, 还考虑了灌溉水的属性, 选取的指标包括电导率、阳离子交换率、干湿度等^[13]。基于上述, 综合考虑土壤、气候和地下水因素中的相应指标, 是评价盐渍化致灾危险性的重要方向。

在土地利用与盐渍化的相互作用关系研究中, 二者变化的相互影响备受关注^[14–15]。土地利用变化的监测多采用3S技术, 选取区域多期遥感图像进行解译和空间叠加分析^[16–17]。研究认为, 土地利用变化的幅度和速度可以用单一土地利用动态度和综合土地利用动态度刻画^[18]; 土地利用相互转化的类型和空间分布格局可以用土地利用动态度双向模型^[19]和土地利用变化转移矩阵^[20]等刻画。有学者对于干旱盐碱区域做过专门研究, 通过分析土地利用变化的速度和转移方向, 发现在盐

* 收稿日期: 2015–05–11 修回日期: 2015–06–15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“全球变化与环境风险关系及其适应性范式研究”(2012CB955403)

作者简介: 连芳(1992–), 女, 福建漳州人, 硕士研究生, 主要从事自然灾害风险与制图等研究。

E-mail: lianfang2023@mail.bnu.edu.cn

通讯作者: 王静爱(1955–), 女, 满族, 河北定州人, 教授, 主要从事自然灾害等研究. E-mail: jwang@bnu.edu.cn

渍化的威胁下,耕地大量转化为盐渍地^[21],由此可见,土地作为承灾体时,其对于盐渍化致灾危险的响应十分明显。编制盐渍化威胁下土地利用脆弱性图,可以表达土地利用类型在不同盐渍化程度下的响应关系。

目前,在我国滨海盐碱区,针对土壤盐分特征和水盐运动^[22-24]、土地利用优化模式^[25]等方面展开了一些研究,但少有土地脆弱性评价的相关研究。因此,本研究以滨海盐碱区黄骅为例,基于两期 TM 影像,编制土地利用图;选取土壤含盐量、地下水矿化度等指标,编制盐渍化自然致灾危险性图;编制土地利用变化与盐渍化致灾危险性关系图,构建各土地利用盐渍化脆弱性曲线。本研究可为区域盐渍化风险防范模式和生态安全条件下的土地利用优化对策制定提供科学依据。

1 数据与方法

河北省黄骅市(图 1)位于华北平原东端、渤海西岸,地形平缓,最大高程值仅为 25 m,自西南

向东北微倾入渤海,是海陆的过渡区。地貌由平原和淤积型泥质海岸组成,内陆在河流的冲积下形成稍有起伏的微地貌,近海有洼地。黄骅市年均降水量 627 mm,降水平均相对变率高达 25%,且各季节分配不均。年均蒸散量为 870 mm,市内淡水资源严重贫乏,矿化程度高。黄骅市的土壤主要有潮土、盐土和沼泽土 3 类。其中,潮土类有滨海潮土、滨海盐化潮土和滨海沼泽化潮土 3 个亚类;盐土类有滨海草甸盐土和滨海盐土 2 个亚类;沼泽土类有滨海盐化草甸沼泽土和滨海潮土化沼泽土 2 个亚类。截止到 2010 年,黄骅市共有 44.35 万人。本文研究的技术路线如图 2 所示。



图 1 黄骅市的地理位置及行政区分布

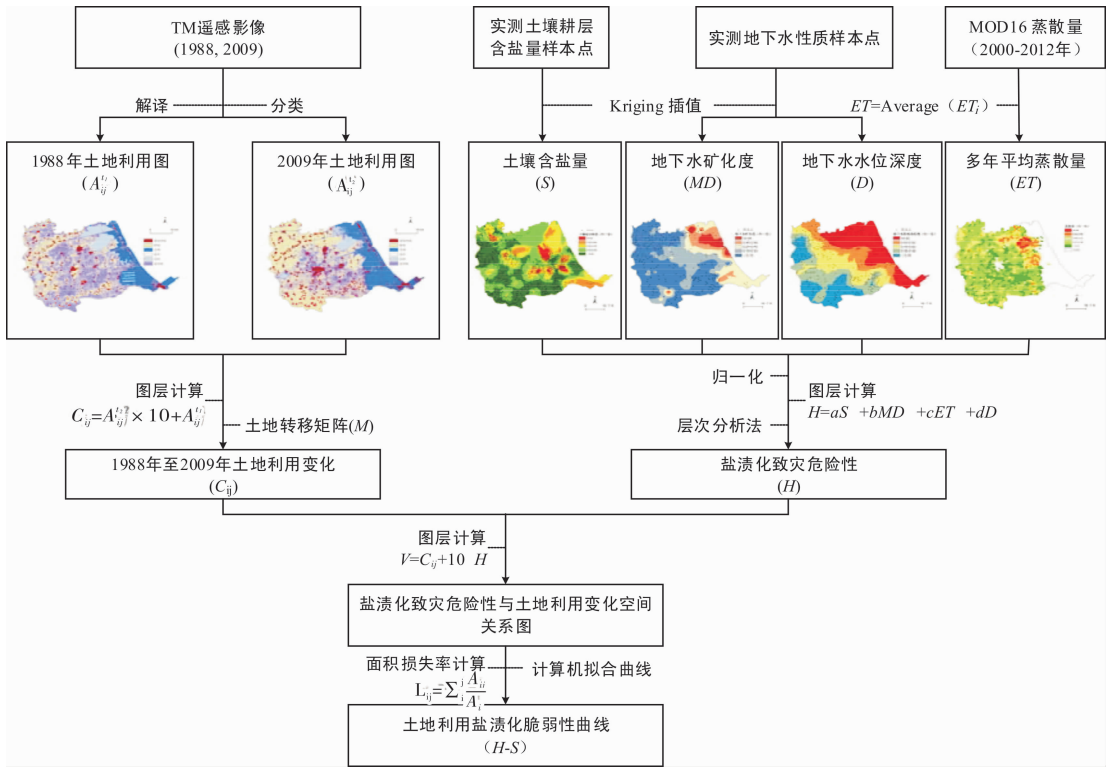


图 2 技术路线

表 1 土地利用类型解译数据和验证数据来源

数据名称	数据来源	时间/时相	比例尺/精度	数据用途
TM 遥感影像数据	中国科学院遥感卫星地面站	1988 年 9 月 21 日	30 m × 30 m	土地利用分类解译
		2009 年 8 月 3 日		
黄骅县土地利用现状图	黄骅市农科所土肥站	1980 年	1: 50000	精度验证
野外 GPS 实地调查数据	实地定点调查	2013 年	——	精度验证

1.1 土地利用分类与变化检测

本文采用美国 LANDSAT 卫星获取的 TM 遥感影像数据(表1),选取了1988年和2009年两个时段,进行图像解译。参考全国土地分类标准^[26],并结合黄骅土地利用和覆盖特征,最终将土地利用类型分为六类,分别为建设用地、耕地、水域、盐田、沼泽、盐荒地。

由于遥感图像解译中,盐荒地与其他土地利用类型存在同质异谱和同谱异质的现象,所以本文采用分区分类方法^[27],得到两期土地利用类型图。分类精度验证包括两个方面:一是利用1980年的黄骅土地利用现状图对1988年的图像解译成果进行验证,解译精度达到89.4%;二是通过实地勘察,选取了60个典型样本,对2009年的图像解译成果进行验证,解译精度达到80.1%。

土地利用转移矩阵用来表示不同时期不同土地利用类型的转移情况^[28]。对于任意两期土地利用类型图 A_{ij}^1 和 A_{ij}^2 ,按照式(1)的地图代数方法,可以求得由 t_2 时期到 t_1 时期的土地利用变化图 C_{ij} ,其表现了土地利用变化的类型及其空间分布,计算公式为:

$$C_{ij} = A_{ij}^2 \times 10 + A_{ij}^1 \quad (\text{土地利用类型} < 10 \text{ 时适用})。 \quad (1)$$

根据 C_{ij} 求得土地利用类型转换的数量关系的转移矩阵 M , 计算公式为:

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & \cdots & M_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{i1} & \cdots & M_{ij} \end{bmatrix}。 \quad (2)$$

式中: M_{ij} 表示 t_2 时期 i 类土地利用类型转换为 j 类土地利用类型的面积占 t_1 时期的 i 类土地利用类型总面积的百分比。

根据上文,编制黄骅市1988年至2009年土地利用变化图(图3)。

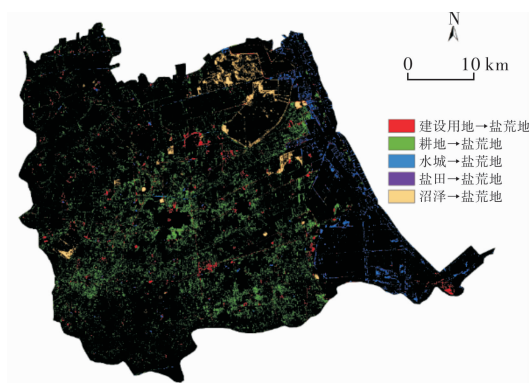


图3 黄骅市1988年到2009年各土地利用类型退化成盐荒地情况

1.2 盐渍化致灾危险性评价指标及方法

用于盐渍化致灾危险性评价的指标有4个。土壤全盐含量(S)、地下水矿化度(MD)和地下水水

位(D)的数据来源为黄骅市农科所土肥站,均属样点实测数据, S 为实测土壤耕层盐分含量数据, MD 和 D 是实测地下水性质数据,数据时间为1980年;多年平均蒸散量(ET)为MOD 16数据^[29],为栅格数据,精度是 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$,时段为2000-2012年。为了编制盐渍化致灾因子图, S 、 M 和 D 矢量点数据通过克里金插值转化为栅格数据, ET 栅格数据通过算术平均法求算区域多年平均值。

由于这四个指标量纲不一致,且对盐渍化致灾危险性的贡献不同,故先对指标进行归一化处理,再用层次分析法(AHP)^[30]赋予权重。计算得到各指标权重分别:土壤含盐量44.03%,矿化度25.60%,蒸散量13.67%,地下水距地表距离16.69%,通过一致性检验($CR = 0.0858$)。盐渍化致灾危险性(H)计算公式如下:

$$H = 0.44 \cdot S + 0.26 \cdot M + 0.13 \cdot ET + 0.17 \cdot D。 \quad (3)$$

根据上文,编制黄骅市盐渍化致灾危险性图(图4)。

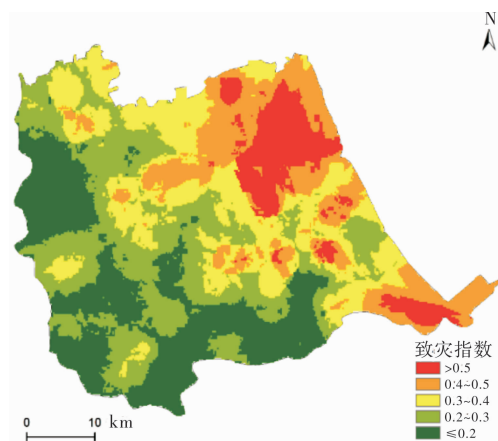


图4 黄骅市盐渍化致灾危险性

1.3 土地利用盐渍化脆弱性评价方法

土地利用类型转移与盐渍化致灾危险性关系密切,二者相关的空间格局图是评价土地利用盐渍化脆弱性的基础。采用地图空间叠制的方法,即将图3和图4叠加,得到不同致灾强度下各类土地退化为盐荒地的系列地图(图5)。

为了便于统计,将盐渍化致灾强度分为30个等级。根据式(3),分别计算耕地、建设用地、水域、盐田和沼泽这五类土地利用类型,在各致灾强度等级的面积损失率:

$$L_{ij} = \sum_1^j \frac{A_{ij}}{A_i}。 \quad (3)$$

式中: i 为土地利用类型, j 为致灾等级, L_{ij} 表示 i 类土地利用在 j 致灾等级上的面积损失率, A_i 为 i 类土地利用退化为盐荒地的总面积, A_{ij} 为在 j 致灾等级中 i 类土地利用退化为盐荒地的面积。

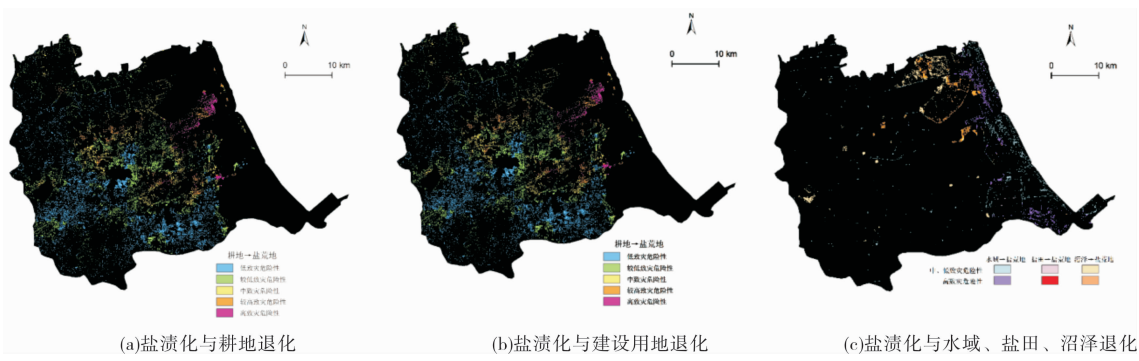


图5 盐渍化致灾危险性与土地利用变化空间关系

通过式(3)，计算得到每个致灾等级下的每种土地利用类型的面积损失率，共计 150 个样本数据。基于这些样本数据，拟合出 5 种土地利用类型的 5 条盐渍化脆弱性曲线(图 6a、图 6b)。为了体现脆弱性的区域差异，以耕地为例，计算得到每个致灾等级下的耕地面积损失率，共计 390 个样本数据，进一步拟合了 12 个乡镇的 12 条耕地盐渍化脆弱性曲线(图 7)。

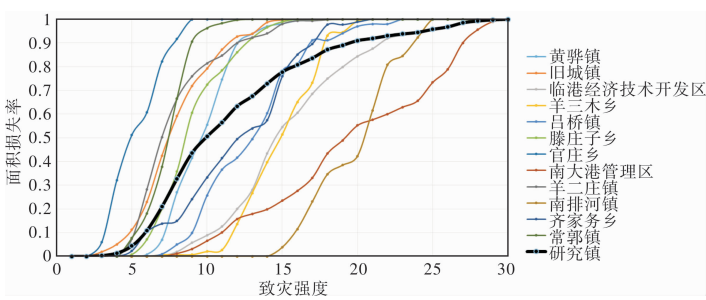


图7 不同乡镇耕地盐渍化脆弱性曲线

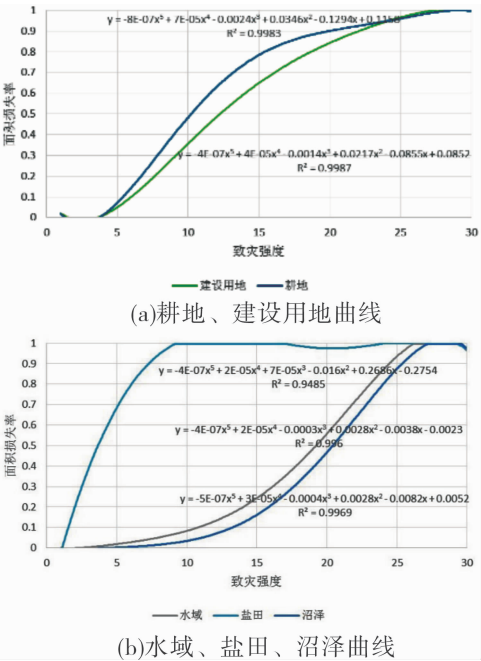


图6 土地利用盐渍化脆弱性曲线

移，19% 转移为盐荒地；沼泽中，43% 未发生用地转移，大部分转化为水域或退化为盐荒地，转移面积分别为 32% 和 16%；水域中，77% 未发生用地转移，转移较多的是开发为建设用地和退化为盐荒地，转移面积都是 10%；5% 的盐田没有发生用地转移，大量盐田转化为水域，面积达 85%；34% 的盐荒地没有发生用地转移，但有 49% 的盐荒地开发为耕地。这些转移中最为突出的是，大多数土地利用类型向盐荒地的转移比重都很大，这反映了盐渍化威胁区域的土地利用脆弱性。

表4 黄骅市土地利用转移矩阵

2009	1988					
	建设用地	耕地	水域	盐田	沼泽	盐荒地
建设用地	0.61	0.06	0.10	0.07	0.01	0.09
耕地	0.08	0.74	0.00	0.00	0.08	0.49
水域	0.09	0.01	0.77	0.85	0.32	0.07
盐田	0.01	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00
沼泽	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.01
盐荒地	0.21	0.19	0.10	0.03	0.16	0.34

2 结果与分析

2.1 黄骅市土地利用变化分析

黄骅市土地变化转移矩阵(表4)可以反映不同土地利用类型的相互转化。结果表明，从 1988 年到 2009 年，建设用地中，61% 未发生用地转移，21% 转移为盐荒地；耕地中，74% 未发生用地转

黄骅市 1988 年到 2009 年各土地利用类型退化成盐荒地(图 3)的空间格局表明：①建设用地、耕地、水域、盐田和沼泽退化为盐荒地均呈现斑块状分布，且斑块密度较大；②在东部沿海区域，主要是水域疏干退化为盐荒地，兼有盐田废弃退化为盐荒地；③在东北区域，由于高土壤含盐量、高地下水矿化度和高蒸散量的影响，大量沼泽疏

干退化为盐荒地,有学者在松嫩平原沼泽区的研究中提出,沼泽是容易出现盐荒地面积增加的土地利用类型^[31],因为大量抽取地下水进行农业灌溉,使得沼泽的水分减少,带动盐分上升,使沼泽容易退化成盐荒地,这与本研究原理相似;④在黄骅市中心附近的大部分区域中,主要是耕地大量分布,且退化为盐荒地,呈高密度分布,有学者对苏北滩涂区进行研究提出尽管灌溉可以淋洗一定量的作物根系表面的盐分,但会同时导致地下水水位抬升,而且本区地下水矿化度高,长期用此地下水灌溉,会造成土壤沉实板结,孔隙度下降,使盐分在地表和耕层大量累积^[32],这与本研究情况相符;⑤在西北和西南地区,以耕地和建设用地退化为盐荒地为主,且退化斑块密度较低。

2.2 黄骅市盐渍化致灾危险性评价

黄骅市盐渍化致灾危险性如图4所示。总体来说,盐渍化致灾危险由西南向东北增高,由内陆向沿海增加。在危险性评价中,指标 S 所占比重最高,因此盐渍化致灾危险性的空间格局主要受到土壤盐分含量分布格局的影响。东北区是指标 S 、 MD 、 D 和 ET 的高值区,因此盐渍化致灾危险性最大;西南区则是盐渍化致灾危险性相对低值分布的区域。

将盐渍化致灾危险性按致灾指数分为五个等级,第五级为 $H > 0.5$,第四级为 $0.4 < H \leq 0.5$,第三级为 $0.3 < H \leq 0.4$,第二等级为 $0.2 < H \leq 0.3$,第一等级为 $H \leq 0.2$,等级越高危险性越高。等级1到等级5的面积比重分别为9.36%、32.66%、26.56%、18.73%和13.69%。

2.3 盐渍化威胁下的土地利用脆弱性分析

图5(a)表达了研究区盐渍化致灾危险性(H)与耕地退化为盐荒地(S_1)的空间关系,图5(b)表达了盐渍化致灾危险性与建设用地退化为盐荒地(S_2)的空间关系。图6(a)所示为这两类土地利用的脆弱性曲线,即“ $H-S_1$ ”脆弱性曲线和“ $H-S_2$ ”脆弱性曲线。

图5(c)表达了研究区盐渍化致灾危险性(H)与水域退化为盐荒地(S_3)、盐田退化为盐荒地(S_4)和沼泽退化为盐荒地(S_5)的空间关系。图6(b)所示为这三类土地利用的脆弱性曲线,即“ $H-S_3$ ”脆弱性曲线、“ $H-S_4$ ”脆弱性曲线和“ $H-S_5$ ”脆弱性曲线。

由图5和图6可知,土地利用盐渍化脆弱性曲线大致呈S型,且根据损失速率可以分为三类。第一类为损失速率极快的脆弱性曲线,在受到盐渍化威胁时,面积大量损失,且在较低致灾强度时,

损失率已达100%,损失速率远高于其他土地利用类型,如“ $H-S_4$ ”脆弱性曲线;第二类为损失速率较快的脆弱性曲线,随着致灾强度的增加,损失率先迅速上升再趋向平缓,如“ $H-S_1$ ”和“ $H-S_2$ ”脆弱性曲线;第三类为损失速率较慢的脆弱性曲线,随着致灾强度的增加,损失率平缓上升再迅速上升,如“ $H-S_3$ ”和“ $H-S_5$ ”脆弱性曲线。在同样的致灾强度下,脆弱性由高到低为盐田、耕地、建设用地、水域和沼泽。

图7所示为研究区12个乡镇的耕地脆弱性曲线。通过分析可得出以下结论。①大部分乡镇耕地面积损失率大于0时的致灾强度较低,即耕地对于盐渍化的脆弱性阈值低,且阈值大多位于致灾强度10以下,变化区间小。②各乡镇耕地面积损失率达100%时的致灾强度差异较大,致灾强度从10到30不等,变化区间大。③根据面积损失速率,可以将曲线分为三种:第一种为损失速率极快的脆弱性曲线,在致灾强度为15时,损失率几乎都达到100%,例如官庄乡、滕庄子乡、旧城镇、黄骅镇、羊二庄镇和常郭镇,这些乡镇是脆弱性的高值区;第二种为损失速率较快的脆弱性曲线,在致灾强度为20时,损失率达到100%,例如齐家务乡、羊三木乡和吕桥镇,这些乡镇是脆弱性较高的区域;第三种为损失速率较慢的脆弱性曲线,当致灾强度很高时,损失率才达到100%,例如临港经济技术开发区、南大港管理区和南排河镇,这些乡镇是脆弱性较低的区域。

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究以滨海盐碱区黄骅为例,基于两期TM影像,编制了土地利用图;选取土壤含盐量、地下水矿化度等指标,编制了盐渍化致灾危险性图;基于上述二图,编制了土地利用变化与盐渍化致灾危险性关系图,构建各土地利用盐渍化脆弱性曲线和各乡镇耕地盐渍化脆弱性曲线。得出以下结论。

(1)黄骅市从1988年到2009年,主要土地利用类型转移成盐荒地分别为建设用地21%、耕地19%、沼泽16%。大多数土地利用类型向盐荒地的转移比重都很大。土地盐渍化具有区域差异性,在东部沿海主要是水域和盐田退化为盐荒地,东北部主要是沼泽退化为盐荒地,而中部和西部主要是耕地和建设用地退化为盐荒地。

(2)盐渍化致灾强度的空间分布格局受各指标的影响,致灾强度从西南内陆向东北沿海递增。

盐渍化致灾强度面积比重最大的是等级 2, 占 32.66%; 其次是等级 3, 占 26.56%; 再次之是等级 4, 占 18.73%。

(3) 本研究拟合了 5 种土地利用类型的盐渍化脆弱性曲线, 分别为“ $H-S_1$ ”“ $H-S_2$ ”“ $H-S_3$ ”“ $H-S_4$ ”和“ $H-S_5$ ”, 它们大致呈 S 型。在同样的致灾强度下, 脆弱性由高到低为盐田、耕地、建设用地、水域和沼泽。

(4) 本研究拟合了 12 个乡镇的耕地盐渍化脆弱性曲线, 表现出耕地面积损失率大于零时的致灾强度变化区间小, 但损失率达 100% 时的致灾强度变化差异大。面积损失速率越大, 乡镇的耕地盐渍化脆弱性越大。

3.2 讨论

本文拟合了土地利用盐渍化脆弱性曲线, 用不同致灾强度下的面积损失率来衡量各土地利用类型的脆弱性。从区域灾害系统理论的角度看, 每个灾害过程都发生在特定的孕灾环境中, 承灾体所遭受的损失是包含环境作用的, 致灾因子、承灾体和孕灾环境在灾害系统中的作用具有同等重要性^[33]。一般认为, 脆弱性是指承灾体在遭受致灾因子打击后, 造成的损失与致灾因子强度的关系, 是承灾体在特定的自然社会环境下的表达^[34], 很大程度上受到环境的影响^[35]。孕灾环境虽然不直接作用于风险的形成过程, 而是在致灾因子危险性和承灾体脆弱性的形成过程中起作用^[36], 因此, 承灾体的损失实际上是环境条件和致灾因子共同作用的结果。因此, 在结合致灾因子危险性和承灾体脆弱性进行盐渍化风险评价时, 可以考虑孕灾环境的作用, 构建“L-H-E”脆弱性曲面, 即“损失-致灾因子-孕灾环境”脆弱性曲面以进一步提升脆弱性评价和风险评价的精度。

结合本研究中盐渍化致灾强度和耕地的盐渍化脆弱性发现, 位于致灾强度高值区的乡镇有较低的脆弱性。这样的分布格局可能与承灾体的暴露性有关系。高致灾的区域承灾体分布可能较少, 暴露性低, 使得该区域总体的脆弱性较低, 即总损失较少。如地震^[37], 在致灾强度高的青藏高原边缘地区, 人口分布较少, 该区的脆弱性也较低, 风险也较小。在本研究中, 致灾强度高值区的耕地分布较少, 使得该区总体的耕地脆弱性较低, 即面积的总损失较少。进一步分析认为, 高致灾区域的承灾体分布较少, 可能适应有关系。适应性是指系统针对外部环境特征的演变(如变化的条件、压力、致灾因子、风险等)进行自我学习、调整与演化的能力^[38]。在应对灾害, 特别是如盐渍化这类的渐发性灾害, 人类在其中扮演着重要的

作用, 因此, 在长期应对盐渍化的打击时, 人类通过减少农业耕作活动, 以适应所处区域高盐渍化致灾强度的环境。因此, 本文推测“高致灾强度低脆弱性与低致灾高脆弱性”这样的分布格局与承灾体的暴露性和农业耕作的适应性有关系, 可采用定量分析或相应指标以进一步分析研究。

参考文献:

- [1] FAO, <http://www.fao.org/nr/land/degradation/zh/>. [2014]
- [2] Martinez-Beltran J, Manzur C L. Overview of salinity problems in the world and FAO strategies to address the problem [C]//Proceedings of the international salinity forum. Riverside, California. USDA-ARS Salinity Lab Riverside, 2005; 311-313.
- [3] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 6-17.
- [4] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 1-9.
- [5] 祝寿泉, 王遵亲. 关于盐土和碱土分类问题[M]//中国土壤学会盐渍土专业委员会. 中国盐渍土分类分级文集. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989; 1-11.
- [6] Richards L A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils [J]. Soil Science, 1954, 78(2): 154.
- [7] Rengasamy P. World salinization with emphasis on Australia [J]. Journal of Experimental Botany, 2006, 57(5): 1017-1023.
- [8] Castrignanò A, Buttafuoco G, Puddu R. Multi-scale assessment of the risk of soil salinization in an area of south-eastern Sardinia (Italy) [J]. Precision Agriculture, 2008, 9(1/2): 17-31.
- [9] Sentis I. Soil salinization and land desertification [J]. Soil degradation and desertification in Mediterranean environments. Geofor-maEdiciones. Logroño, Spain, 1996.
- [10] Mirlas V. Assessing soil salinity hazard in cultivated areas using MODFLOW model and GIS tools: A case study from the Jezre'el Valley, Israel [J]. Agricultural Water Management, 2012, 109: 144-154.
- [11] Datta K K, Sharma V P, Sharma D P. Estimation of a production function for wheat under saline conditions [J]. Agricultural Water Management, 1998, 36(1): 85-94.
- [12] Bui E N, Smettem K R J, Moran C J, et al. Use of soil survey information to assess regional salinization risk using geographical information systems [J]. Journal of Environmental Quality, 1996, 25(3): 433-439.
- [13] Paz J M, Visconti F, Zapata R, et al. Integration of two simple models in a geographical information system to evaluate salinization risk in irrigated land of the Valencian Community, Spain [J]. Soil use and management, 2004, 20(3): 333-342.
- [14] 李晓军, 李取生. 松嫩平原西部土地利用变化及其盐渍化效应研究——以大安市为例 [J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(3): 88-92.
- [15] 顾峰雪, 张远东, 潘晓玲, 等. 水盐动态与土地利用变化相互作用的分析 [J]. 地理学报, 2003, 58(6): 845-853.
- [16] 陈民, 于学政, 王宁, 等. 3S 技术在土地利用变化监测中的应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2014, 37(2): 80-83.
- [17] 刘兴权, 龙熊, 吴涛. 3S 技术在土地利用动态监测中的应用 [J]. 地理空间信息, 2009, 7(5): 4-6.

- [18] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 54-63.
- [19] 姚原温,李阳兵,金昭贵,等. 贵州省大坝土地利用变化及驱动力分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(01): 67.
- [20] 史培军,陈晋,潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. 地理学报, 2000, 55(2): 151-160.
- [21] 孙倩. 干旱区典型绿洲土地利用/覆被变化及其对土壤盐渍化的效应研究——以新疆沙雅县为例[J]. 地理科学进展, 2012, 31(9): 1212-1223.
- [22] 翟亚明,何德舜,季亚辉. 天津滨海地区原生盐碱土盐分淋洗规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(5): 65-67.
- [23] 王美丽,李军,岳甫均,等. 天津盐渍化农田土壤盐分变化特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30(9): 1949-1954.
- [24] 柴寿喜,杨宝珠,王晓燕等. 渤海湾西岸滨海盐渍土的盐渍化特征分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(5): 1217-1226.
- [25] 岳耀杰,张峰,张国明,等. 滨海盐碱地利用变化与优化研究——以黄骅市“台田-浅池”模式为例[J]. 资源科学, 2010(3): 423-430.
- [26] 中华人民共和国国家标准(GB/T 21010-2007). 土地利用现状分类标准[S]. 2007-08-10.
- [27] 史培军,张化,顾卫,等. 海冰水在滨海台田-浅池系统中的应用[M]. 北京: 科学出版社. 2014.
- [28] Jenson J Q, Cowen D. Principles of change detection using digital remote sensor data. Integration of GIS and remotesensing[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997: 1-25.
- [29] Mu Q, Zhao M, Running S W. MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3)[R]. 2013.
- [30] Saaty T L. The Analytical Hierarchy Process[M]. New York, NY: Graw-Hill, 1980.
- [31] 刘世梁,董玉红,安南南,等. 基于增强型植被指数序列和景观格局分析的松嫩平原盐碱地动态——以大安市为例[J]. 应用生态学报, 2014, 25(11): 3263-3269.
- [32] 姚荣江,杨劲松,陈小兵,等. 苏北海涂典型围垦区土壤盐渍化风险评估研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 1000-1006.
- [33] 史培军. 四论灾害系统研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2005, 13(6): 1-7.
- [34] 汤章城. 植物对水分胁迫的反应和适应性——II 植物对干旱的反应和适应性[J]. 植物生理学通讯, 1983, (4): 1-7.
- [35] Wisner, Blaikie et al. At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters Second edition [M]. London: Routledge, 2003.
- [36] 尹衍雨. 主要农作物旱灾脆弱性与风险评价——以河北省邢台县为例[D]. 北京: 北京师范大学, 2012.
- [37] Li M, Zou Z H, Xu G D, 等. Mapping Earthquake Risk of the World[M]// Shi P J, Kaspersen R. World Atlas of Natural Disaster Risk. Heidelberg: Springer, 2015: 25-40.
- [38] Smit B, Wandel J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability[J]. Global Environmental Change, 2006, 16(3): 282-292.

Vulnerability Assessment of Land-use under the Threat of Coastal Saline Alkali Area of Soil Salinization ——A Case Study of Huanghua City in Hebei Province

Lian Fang^{1,2}, Zhang Feng^{1,2,3} and Wang Jing'ai^{1,2,3}

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Key Laboratory of Regional Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Salinization can contribute to land function decline and have impact on sustainability of bio-environment. Land use vulnerability assessment of salinization has been one of the major issues of environment risk assessment. This study took Huanghua, a coastal saline region, as a case. The relationship between salinization hazard and land use changes is studied, and land-use vulnerability curves are developed. The results show as follows: 1) From 1988 to 2009, the area proportions of main land use types degraded into saline wasteland are construction land 21%, cultivated land 19% and wetland 16%; 2) Salinization hazard increases from southwest to northeast and from inner land to coastal land; 3) Based on the land-use vulnerability curves of salinization, land-uses ranked in vulnerability from high to low are saltpans, cultivated land, construction land, waterbody and wetland. Land-use with high vulnerability can be easily salinized. The results can be references to salinization risk assessment and land-use optimize mode decision-making.

Key words: land-use; salinization; hazard; vulnerability; Huanghua