

# 基于 GIS 的双台子河口潮滩湿地翅碱蓬和芦苇生境适宜度分析

刘长发<sup>1,2</sup>, 郑晶予<sup>2</sup>, 李 晋<sup>3</sup>, 刘 远<sup>1,2</sup>, 魏海峰<sup>1,2</sup>, 李 微<sup>1,2</sup>

(1. 近岸海洋环境科学与技术辽宁省高校重点实验室, 辽宁 大连 116023;

2. 大连海洋大学 海洋科技与环境学院, 辽宁 大连 116023;

3. 盘锦市海洋与渔业局水产苗种监督管理处, 辽宁 盘锦 124010)

**摘要:** 计算生境适宜指数可以实现生境质量量化。利用 GIS 空间分析中的反距离权重插值法对双台子河口潮滩湿地土壤质量因子和土壤污染因子进行空间插值, 并依此进行生境适宜性等级划分。结果表明, 双台子河口潮滩湿地研究区域内大部分区域均适合翅碱蓬和芦苇生长, 由于土壤水分和盐分含量的限制, 属于翅碱蓬和芦苇生长次适宜生境和边缘生境, 仅有少量区域属于翅碱蓬生长核心生境, 而在潮间带区域没有芦苇生长核心生境。

**关键词:** 生境适宜指数; 翅碱蓬; 芦苇; 地理信息系统

**中图分类号:** Q948.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2012)03-0014-06

生境(habitat)是生物生存的环境, 是对其生命活动产生影响的空间条件的总和。生境质量量化与评价对于生物种群管理与保护具有重要意义, 一般通过计算生境适宜指数(Habitat suitability index, HSI)和生境面积实现。HSI模型最初由美国鱼类与野生生物司(USFWS)提出, 用于表达主要环境因子对生物物种分布和丰度的影响(USFWS, 1980)。由于HSI模型有助于理解物种的生态位需求以及预测其潜在分布, 因此, 被广泛用于管理物种分布、评价环境因子生态影响、评价生物入侵风险和管理濒危物种等(Hirzel et al, 2006)。一般地, HSI模型开发过程包括: 获取生境数据资料; 构建单因素生境适宜度函数; 赋予生境因子权重; 结合多项生境适宜度指数计算整体HSI值; 生成生境适宜度地图(金龙如等, 2008)。目前, 已开发了157种野生生物HSI模型, 被广泛用于物种管理、环境影响评价、丰度分布和生态恢复研究(刘群秀和王小明, 2009; 王志强等, 2010)。大多数HSI模型用于分析鱼类和野生动物的生境适宜性。近年来, 也用于土地对作物的适宜性研究(陈长青等, 2004)。随着HSI模型不断发展, 在传统方法基础上融入了遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)技术, 尤其是GIS技术以其强大的空间数据收集、存储、分析和图形化显示能力, 使生境适宜性分析的研究范围不

断扩大, 精度不断提高, 分析也更加全面。

双台子河口滨海潮滩湿地位于辽宁省盘锦市辽东湾北部, 2004年7月12日被列入国际重要湿地名录(The list of wetlands of international importance), 拥有大面积的浅海海域、翅碱蓬滩涂、芦苇田和水稻田, 以及海参、虾、河蟹养殖池塘, 是我国高纬度地区最大的滨海河口湿地, 湿地内建有“辽宁双台子河口国家级自然保护区”(121°45' E ~ 122°00' E, 40°45' N ~ 41°10' N), 面积约1280 km<sup>2</sup>。本研究根据双台子河口滨海湿地生态环境及植被条件, 运用GIS技术及HSI模型进行芦苇、翅碱蓬的生境适宜性规划, 为辽宁双台子河口自然保护区可持续利用与管理提供建议, 为双台子河口滨海潮滩湿地生态修复提供参考。

## 1 研究方法

### 1.1 影响因子及数据来源

根据翅碱蓬和芦苇的生长条件和要求, 选取土壤质量因子和土壤污染因子用于计算生境适宜性指数HSI, 土壤质量因子包括土壤含盐量、pH、含水率、氮含量和磷含量; 土壤污染因子包括土壤重金属汞、铅、镉和铜含量, 类金属砷含量及土壤总石油类含量。各因子数据由前期调查(谢谢, 2010)获得。

### 1.2 生境适宜度等级划分

参照联合国粮农组织《土地规划纲要》(FAO, 1976), 依据其对翅碱蓬和芦苇生长适宜性程度和限制性强度, 将双台子河口潮滩湿地生境依适宜性分为4个等级。

(1) 高度适宜(Best) 有利于芦苇或翅碱蓬生

收稿日期: 2012-03-07

基金项目: 国家自然科学基金(41171389); 国家海洋公益性行业科研专项项目(200805069)。

作者简介: 刘长发, 1964年生, 博士, 教授, 主要从事污染物生物环境地球化学过程和控制研究。E-mail: liucf@dlou.edu.cn

长,在常规条件下,能达到最好的生长效果。可视为核心生境(Core habitat)。

(2)中度适宜(Better)能够满足芦苇或翅碱蓬生长发育要求,能够得到较好的生长效果。可视为次适宜生境(Inferior habitat)。

(3)勉强适宜(Good)生长条件接近芦苇或翅碱蓬生长的状态,植物可生长。可视为边缘生境(Marginal habitat)。

(4)不适宜(Poor)不能达到芦苇或翅碱蓬生长

的基本要求,植物生长受到限制。可视为不适宜生境(Unsuitable habitat)。

本着既简单又易于操作,且能将属于不同等级的生境加以区分的原则,在 Arc GIS 9.2 中,对评价因子适宜性等级划分进行赋分,确定高度适宜为 4 分,中度适宜为 3 分,勉强适宜为 2 分,不适宜为 0 分。

各等级划分标准见表 1 和表 2。

表 1 翅碱蓬生境适宜性等级划分

Tab.1 Classification of habitat suitability for *Suaeda salsa*

评价因子	高度适宜 (SI=4)	中度适宜 (SI=3)	勉强适宜 (SI=2)	不适宜 (SI=0)
含盐量/g·kg <sup>-1</sup>	11.7~17.6	17.6~29.2	29.2~35.0	>35.0
含水率/%	38~28	28~26	26~24	<24
pH	7.9~8.2	7.0~7.9	6.0~7.0或8.2~9.0	<6.0或>9.0
氮含量/mg·g <sup>-1</sup>	>0.40	0.40~0.20	0.20~0.15	<0.15
磷含量/mg·g <sup>-1</sup>	>0.10	0.10~0.08	0.08~0.04	<0.04
总石油类含量/mg·g <sup>-1</sup>	<0.5	0.5~1.0	1.0~3.0	>3.0
铅含量/mg·kg <sup>-1</sup>	<300	300~350	350~500	>500
铜含量/mg·kg <sup>-1</sup>	<35	35~100	100~400	>400
镉含量/mg·kg <sup>-1</sup>	<0.2	0.2~1.0	1.0~1.5	>1.5
锌含量/mg·kg <sup>-1</sup>	<100	100~300	300~500	>500
汞含量/mg·kg <sup>-1</sup>	<0.15	0.15~1.0	1.0~1.5	>1.5
砷含量/mg·kg <sup>-1</sup>	<15	15~25	25~30	>30

注:SI为单因素生境适宜指数。

Note: SI was the single factor habitat suitability index.

表 2 芦苇生境适宜性等级划分

Tab.2 Classification of habitat suitability for *Phragmites australis*

评价因子	高度适宜 (SI=4)	中度适宜 (SI=3)	勉强适宜 (SI=2)	不适宜 (SI=0)
含盐量/g·kg <sup>-1</sup>	<15	15~27	27~30	>30
含水率/%	>36.9	36.9~25.7	25.7~21.5	<21.5
pH	8.5~7.5	7.5~7.0	7.0~6.5或8.5~9.0	<6.5或>9.0
氮含量/mg·g <sup>-1</sup>	>0.4	0.4~0.2	0.2~0.15	<0.15
磷含量/mg·g <sup>-1</sup>	>0.10	0.10~0.08	0.08~0.04	<0.04
总石油类含量/mg·g <sup>-1</sup>	0.24~2.16	2.16~2.40	2.40~7.20	>7.20
铅含量/mg·kg <sup>-1</sup>	<300	300~350	350~500	>500
铜含量/mg·kg <sup>-1</sup>	<35	35~100	100~400	>400
镉含量/mg·kg <sup>-1</sup>	<0.2	0.2~0.6	0.6~1.0	>1.0
锌含量/mg·kg <sup>-1</sup>	<100	100~300	300~500	>500
汞含量/mg·kg <sup>-1</sup>	<0.15	0.15~1.0	1.0~1.5	>1.5
砷含量/mg·kg <sup>-1</sup>	<15	15~25	25~30	>30

注:SI为单因素生境适宜指数。

Note: SI was the single factor habitat suitability index.

### 1.3 生境适宜指数模型构建

针对单个环境参数生境适宜指数,HSI 值计算一般采用几何平均法:

$$HSI = \left( \prod_{i=1}^n SI_i \right)^{\frac{1}{n}}$$

式中,SI<sub>i</sub>为第*i*个环境参数的适宜性指数;*n*为环境参数个数。

几何平均法计算的生境适宜性指数结果较为折中,考虑了单因素生境适宜指数(SI)偏大或偏小的影响。

1.3.1 建立生境适宜性评价层次分析模型 根据层次分析基本原理,对目标进行初步分析,将影响生境适宜性的环境因子按照其共有特性聚集成组,并

依据其共同特性形成高一层面的新要素。这些要素本身也可按照其共性再进行组合,形成更高层次的因素,直至构成最终研究目标。本研究根据滩涂土壤(沉积物)环境指标所表示的土壤特性将测定的环境指标划分为土壤质量因子和污染污染因子,并以此构建生境适宜性模型。其中,土壤质量因子包括含水率、含盐量、pH、氮含量和磷含量;土壤污染因子包括总石油类、铅、铜、镉、锌、汞和砷含量。建立的层次分析结构包括目标层、要素层和指标层,见图1。

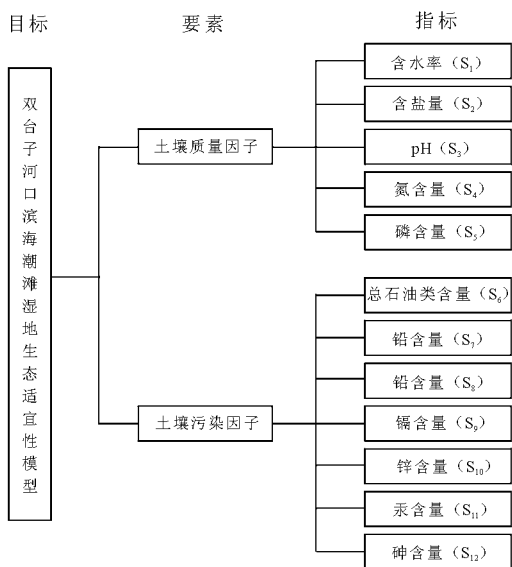


图1 层次分析结构

Fig. 1 Structure diagram of analytic hierarchy process (AHP)

hierarchy process (AHP)

1.3.2 构建判断矩阵 在构建判断矩阵时,层次分析法一般采用1~9比例标度,这样的比例标度比较符合人们进行判断时的心理习惯,因为人们通常采用相等、较强(弱)、明显强(弱)、很强(弱)、绝对强(弱)等语言表达比较两个因素的某种属性的相对重要性。表3为构建判断矩阵的元素赋值所反映的评价因素两两比较的标度及其含义。

表3 判断矩阵标度及其含义

Tab. 3 Judgment matrix scale and its meaning

标度	含义
1	两因素相比,具有同等重要性
3	两因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要
5	两因素相比,一个因素比另一个因素明显重要
7	两因素相比,一个因素比另一个因素强烈重要
9	两因素相比,一个因素比另一个因素极端重要
2, 4, 6, 8	上述相邻判断因素的中值
倒数	因素 <i>i</i> 与 <i>j</i> 比较得判断 $b_{ij}$ ,则因素 <i>j</i> 与 <i>i</i> 比较的判断 $b_{ji} = 1/b_{ij}$

1.3.3 确定影响因子权重 结合获得的双台子河口滨海潮滩湿地环境数据及研究区受人为干扰现状,根据层次分析法要求将影响翅碱蓬和芦苇生境适宜性分析的主要要素确定为土壤质量因子,即土壤质量因子的影响程度较重要。对于滨海潮滩湿地植物而言,土壤(沉积物)含盐量和含水率在其生长发育过程中起着重要作用,其次是土壤(沉积物)中含有的氮、磷等营养盐,而这些参数都属于土壤质量因子。土壤(沉积物)的污染状况仅限于局部区域。土壤要素的权重赋值见表4。

表4 生境适宜性评价权重赋值

Tab. 4 Valuation of factor weight of habitat suitability assessment

生境适宜性评价因子(A)	土壤质量因子(B <sub>1</sub> )	土壤污染因子(B <sub>2</sub> )
土壤质量因子(B <sub>1</sub> )	1	7
土壤污染因子(B <sub>2</sub> )	1/7	1

根据两两比较法,对于翅碱蓬和芦苇而言,土壤含水率和含盐量与pH相比稍微重要,与土壤氮含量和磷含量相比较重要,土壤pH与土壤氮含量及磷含量相比相对重要,含水率与含盐量同等重要,土壤氮含量与土壤磷含量同等重要。土壤质量因子指标的权重赋值见表5。

表5 土壤质量因子权重赋值

Tab. 5 Valuation of factor weight of soil quality

土壤质量因子(B <sub>1</sub> )	含水率(S <sub>1</sub> )	含盐量(S <sub>2</sub> )	pH(S <sub>3</sub> )	氮含量(S <sub>4</sub> )	磷含量(S <sub>5</sub> )
含水率(S <sub>1</sub> )	1	1	3	6	6
含盐量(S <sub>2</sub> )	1	1/3	3	6	6
pH(S <sub>3</sub> )	1/3	1/3	1	2	2
氮含量(S <sub>4</sub> )	1/6	1/6	1/2	1	1
磷含量(S <sub>5</sub> )	1/6	1/6	1/2	1	1

同样,根据两两比较法,由于研究区域有辽河油田存在,所以,土壤总石油类含量与铅、铜、镉、锌、汞、砷含量相比明显重要;两两比较铅、铜、镉、锌、汞、砷含量等指标,同等重要。土壤污染因子权重赋值见表6。

表6 土壤污染因子权重赋值

Tab. 6 Valuation of factor weight of soil pollution

土壤污染因子(B <sub>2</sub> )	总石油类含量(S <sub>6</sub> )	铅含量(S <sub>7</sub> )	铜含量(S <sub>8</sub> )	镉含量(S <sub>9</sub> )	锌含量(S <sub>10</sub> )	汞含量(S <sub>11</sub> )	砷含量(S <sub>12</sub> )
总石油类含量(S <sub>6</sub> )	1	5	5	5	5	5	5
铅含量(S <sub>7</sub> )	1/5	1	1	1	1	1	1
铜含量(S <sub>8</sub> )	1/5	1	1	1	1	1	1
镉含量(S <sub>9</sub> )	1/5	1	1	1	1	1	1
锌含量(S <sub>10</sub> )	1/5	1	1	1	1	1	1
汞含量(S <sub>11</sub> )	1/5	1	1	1	1	1	1
砷含量(S <sub>12</sub> )	1/5	1	1	1	1	1	1

1.3.4 一致性检验 根据目标层构建判断矩阵,运用方根法计算其最大特征根及其对应的特征向量,进行一致性检验。经一致性检验,可接受所构建的

判断矩阵。表7为计算得到的影响翅碱蓬、芦苇生长各环境因子权重。

表7 环境因子权重

Tab.7 Factor weight of soil environmental factor

含水率 (S <sub>1</sub> )	含盐量 (S <sub>2</sub> )	pH (S <sub>3</sub> )	氮含量 (S <sub>4</sub> )	磷含量 (S <sub>5</sub> )	总石油类含量 (S <sub>6</sub> )	铅含量 (S <sub>7</sub> )	铜含量 (S <sub>8</sub> )	镉含量 (S <sub>9</sub> )	锌含量 (S <sub>10</sub> )	汞含量 (S <sub>11</sub> )	砷含量 (S <sub>12</sub> )
0.328	0.328	0.112	0.055	0.055	0.057	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011

1.3.5 数据处理 基于空间上两点位置越近,越可能具有相似的特征,距离越远的点,其相似的可能性越小,采用反距离权重插值(Inverse distance weighted)法,利用GIS空间分析模块进行插值运算。并依次进行生境适宜性等级重新分类,对各环境因子集合的HSI模型进行栅格计算,建立双台子河口滨海潮滩湿地翅碱蓬和芦苇生境适宜性评价模型,计算综合适宜性得分。采用等值分类法重新分类计算结果,将生境适宜性水平重新分类为高度适宜、中度适宜、勉强适宜和不适宜。输出翅碱蓬、芦苇生境适宜性分析图。

高,属于芦苇生长边缘生境外,均适合芦苇生长,同样由于土壤盐分含量的限制,在潮间带区域没有芦苇核心生境(见图3)。

1.3.6 遥感影像底图处理 采用2009年7月15日TM数据(空间分辨率为2.5m),将遥感影像用1:25000辽东湾北部区域海图校准,并利用ArcGIS 9.2对已校准过的地图数字化。

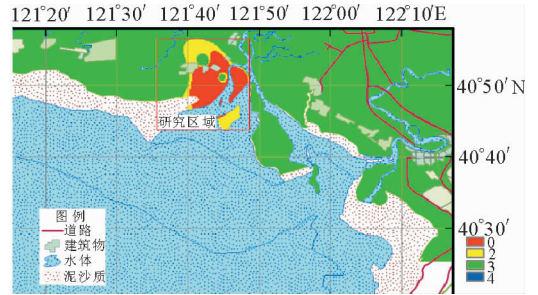


图3 双台子河口潮滩湿地芦苇生境适宜性分区  
Fig.3 Map of habitat suitable areas of *P. australis* according to classification by soil environmental factors in wetland of Shuangtaizi estuary

## 2 结果与分析

基于GIS绘制的翅碱蓬和芦苇生境适宜性分析结果见图2和图3。

## 3 讨论

### 3.1 翅碱蓬生境分析

翅碱蓬作为先锋植物属于更适宜在土壤水分含量高的区域生长,亦能够忍受长时间的海水浸泡,却不能在水分较少的区域正常生长。对于翅碱蓬而言,土壤含盐量和含水量在其生长过程中起着主要作用(张立宾等,2007),其次才是作为营养成分的土壤氮、磷含量(宋洪海和梁漱玉,2010)。一些土壤污染因素如重金属、石油类虽对其生长产生一定影响,但翅碱蓬具有一定的耐受和富集能力,并对滨海湿地石油烃污染具有一定的修复能力(许崇彦等,2007;刘宇等,2009;何洁等,2011)。土壤pH对翅碱蓬的生长发育影响较小。双台子河口滨海潮滩湿地中随着潮水涨落而淹没干出的区域均属于适宜翅碱蓬生长区域,因此,在这部分潮滩湿地管理中应优先考虑翅碱蓬的种植与保护。

### 3.2 芦苇生境分析

对于芦苇而言,土壤含盐含量和含水率是芦苇生长的主要限制因素,尤其是含盐量,土壤高含盐量可以抑制芦苇的生长。其次,土壤氮、磷等营养物质含量对其生长也具有重要作用,芦苇对氮和磷等营

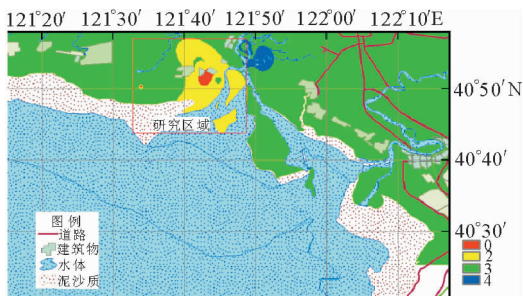


图2 双台子河口潮滩湿地翅碱蓬生境适宜性分区  
Fig.2 Map of habitat suitable areas of *S. salsa* according to classification by soil environmental factors in wetland of Shuangtaizi estuary

由于部分地区土壤(沉积物)含盐量高而含水率低,超出翅碱蓬最大耐受值,翅碱蓬难于生长,成为翅碱蓬生长不适宜区域,其他大部分区域,尤其是潮间带滩涂均适合翅碱蓬生长,但仅有少量区域属于翅碱蓬核心生境(见图2)。

双台子河口潮滩除部分地区因土壤盐分含量过

养物质要求较高。就土壤酸碱性而言,芦苇更适合生长在碱性或中性土壤中。其他因素未成为芦苇生长的限制因素,而且芦苇经常被栽培于人工湿地中以去除水中的杂质、污染物等(籍国东等,2002;欧维新等,2006;罗先香等,2010)。比较翅碱蓬和芦苇,芦苇更适合在低含盐量,污染相对较重的区域生长,并且在低含盐量的土壤(沉积物)中芦苇的生存竞争能力明显高于翅碱蓬。因此,在河流径流量较大时,芦苇可侵占翅碱蓬生长区域,产生群落演替。

本文提供了一种基于GIS的滨海潮滩湿地植物翅碱蓬和芦苇生境适宜性分析和成图方法。在成图过程中,由于采样点布点的局限性可能产生某些区域以点带面的现象,可以通过增加采样点提高成图精度。

#### 参考文献

陈长青,周治国,曹卫星. 2004. 基于知识模型的作物适应性评价专家系统设计[J]. 中国农学通报, 20(6): 312-315.

何洁,贺鑫,高钰婷,等. 2011. 石油对翅碱蓬生长及生理特性的影响[J]. 农业环境科学学报, 30(4): 650-655.

籍国东,孙铁珩,隋欣,等. 2002. 落地原油对芦苇湿地生态工程净化系统影响[J]. 生态学报, 22(5): 649-654.

金龙如,孙克萍,贺红士,等. 2008. 生境适宜度指数模型研究进展[J]. 生态学杂志, 7(5): 841-846.

刘群秀,王小明. 2009. 基于地形因子的藏狐生境评价及其空间容纳量的估算[J]. 动物学研究, 30(6): 679-

686.

刘宇,孟范平,姚瑞华,等. 2009. 碱蓬幼苗对Pb、Cd、Cu、Zn耐受性及富集能力[J]. 环境科学与技术, 32(12D): 55-59.

罗先香,张秋艳,杨建强,等. 2010. 双台子河口湿地环境石油烃污染特征分析[J]. 环境科学研究, 23(4): 437-444.

欧维新,高建华,杨桂山. 2006. 芦苇湿地对氮磷污染物质的净化效应及其价值初步估算——以苏北盐城海岸带芦苇湿地为例[J]. 海洋通报, 25(5): 90-96.

宋洪海,梁漱玉. 2010. 土壤条件对翅碱蓬生长发育的影响[J]. 现代农业科技, 3: 290-291.

王志强,傅建春,全斌,等. 2010. 扎龙湿地丹顶鹤繁殖生境质量变化[J]. 应用生态学报, 21(11): 2871-2875.

谢谢. 2010. 双台河口潮滩湿地沉积物生源要素及总石油类含量研究[D]. 大连: 大连海洋大学.

许崇彦,刘宪斌,刘占广,等. 2007. 翅碱蓬对石油烃污染的海岸带修复的初步研究[J]. 安全与环境学报, 7(1): 37-39.

张立宾,徐化凌,赵庚星. 2007. 碱蓬的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果[J]. 土壤, 9(2): 310-313.

FAO. 1976. A framework for land evaluation [R]. FAO Soil Bulletin 32, Rome.

Hirzel A H, Le Lay G, Helfer V, et al. 2006. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences[J]. Ecological Modelling, 199(2): 142-152.

U. S. Fish and Wildlife Service. 1980. Division of Ecological Services [R]. Habitat Evaluation Procedure, ESM 102.

(责任编辑 杨春艳)

## Habitat Suitability Analysis of *Suaeda salsa* and *Phragmites australis* in Wetlands of Shuangtaizi Estuary Based on GIS

LIU Chang-fa<sup>1,2</sup>, ZHENG Jing-yu<sup>2</sup>, LI Jin<sup>3</sup>, LIU Yuan<sup>1,2</sup>, WEI Hai-feng<sup>1,2</sup>, LI Wei<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Offshore Marine Environmental Research of Liaoning Higher Education, Dalian 116023, P. R. China;

2. School of Marine Sci-Tech and Environment, Dalian Ocean University, Dalian 116023, P. R. China;

3. Department of Administration of Aquaculture Seedling, Panjin Ocean and Fisheries Bureau, Panjin 124010, P. R. China)

**Abstract:** Calculating habitat suitability index can achieve quantification for habitat quality. This paper investigated the spatial interpolation of factors relating to soil quality and soil pollution in the wetlands of Shuangtaizi estuary using inverse distance weighted (IDW), a method of interpolation on geographic information system (GIS). The habitat suitability of *Suaeda salsa* and *Phragmites australis* were classified into four classes. The results showed that the most areas in the wetland of Shuangtaizi estuary studied were suitable for growth of *S. salsa* and *P. australis*. However, as the restriction of the water and salt contents in the wetlands, the most areas were inferior habitat and marginal habitat. Only a few areas were core habitat for growth of *S. salsa* and there was no core habitat for growth of *P. australis* in intertidal area.

**Key words:** habitat suitability index; *Suaeda salsa*; *Phragmites australis*; GIS