# 松嫩平原土地利用生态安全评价与预测

马玉妍[1,2]，马艳敏[3]，于万辉[1,2]，张丽娟[1,2]

（1.黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室，黑龙江 哈尔滨 150025；
2.哈尔滨师范大学，黑龙江 哈尔滨 150025；3.吉林省气象科学研究所，吉林 长春 130062）

**摘　要**：生态安全特别是区域土地利用生态安全的研究是当前的热点问题，对维护区域生态环境实现可持续发展具有重要的意义。以松嫩平原 1980，2000，2010 年 TM 影像为依据，利用综合指数评价法计算松嫩平原土地利用生态安全综合评价指数，对松嫩平原 1980—2010 年土地利用生态安全风险时空变化进行了分析和预测。结果表明：（1）松嫩平原土地利用生态安全风险在空间上呈东北向西南递增的趋势。较低风险区比重最大，在 50％以上。其次为中度风险区，低风险区，较高风险区，高风险区。（2）1980—2000 年，各风险区面积均减少并向较低风险区转化，生态环境压力有所缓解。而在 2000—2010 年，低风险区和较低风险区均减少明显，向中、高风险转化趋势明显。（3）2020—2050 年预测结果表明，中度风险等级、较高风险等级、高风险等级均表现出逐步递增趋势，松嫩平原生态安全恶化趋势明显。

**关键词**：土地利用；生态安全风险；综合指数评价；时空变化；马尔可夫预测；松嫩平原

**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-288X(2014)02-0262-05　　**中图分类号**：X826

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.054

# Evaluation and Prediction of Ecological Security of Land Use in Songnen Plain

MA Yu-yan[1,2], MA Yan-min[3], YU Wan-hui[1,2], ZHANG Li-juan[1,2]

(1. *Key Laboratory of Geographic Environment Remote Sensing Monitoring of Colleges, Harbin, Heilongjiang* 150025, *China*; 2. *Universities in Heilongjiang, Harbin, Heilongjiang* 150025, *China*; 3. *Institute of Meteorological Sciences of Jilin Province, Changchun, Jilin* 130062, *China*)

**Abstract**: The research on ecological safety, especially that of regional land use/cover is a hot issue, which is of great significance to the protection of regional ecological environment and the sustainable development. This paper, using TM images in 1980, 2000, 2010 as the data source, developed a comprehensive index method to evaluate the ecological security of land use, analyzed the temporal and spatial variation of the ecological security in Songnen Plain during 1980 to 2010, and predicted the ecological security pattern in the next 40 years. The results showed that: (1) The risk of ecological security in land use increased from the northeast to the southwest. (2) The lower risk area proportion is the largest, accounting for more than 50%. From 1980 to 2000, the other risk areas were reduced and transformed to lower risk area. This indicated that ecological environment pressure has been decreased. However, from 2000 to 2010, The conversion of low and lower risk areas to higher risk areas is obvious. (3) The prediction showed that during the period from 2020 to 2050, the area of moderate risk, high risk, and higher risk levels will increase gradually, and the ecological environment will deteriorate seriously.

**Keywords**: land use; ecological security risk; evaluation by comprehensive index; temporal and spatial variation; Markov model; Songnen Plain

近年来，生态安全问题已成为国内外研究的热点[1-3]。土地利用生态安全(land use ecological security, LUES)是生态安全的重要组成部分。土地利用生态安全评价，是指针对土地利用的宏观结构调整与布局对环境与生态的可能影响做出的预测性评估，它对于避免规划造成的环境影响和维护区域生态安全有着重要意义[4]。国内一些学者[4-11]利用不同的方法对我国不同区域的土地利用生态安全进行了评价和分析。如范瑞锭[5]、曲青林[6]、吕建树[7]等在压力—状态—响应(PSR)模型框架下构建了福建、兰

**收稿日期**：2013-04-09　　**修回日期**：2013-05-17
**资助项目**：国家自然科学基金项目“松嫩平原百年草甸农田化的干旱效应及其物理机制”(42171217)
**作者简介**：马玉妍(1979—)，男(汉族)，山东省禹城市人，硕士研究生，研究方向为生态系统模拟研究。E-mail:hsdmyy@163.com。
**通信作者**：张丽娟(1965—)，女(汉族)，河北省唐山市人，博士，教授，主要从事生态系统模拟研究。E-mail:zlj19650205@163.com。

州、济宁等地区的土地利用生态安全评价的指标体系;王庆日[8]、张虹波[9]等拓展可拓理论构建了土地资源生态安全的物元判别模型,并以西藏和宁夏地区南部彭阳县为例进行说明;鲍艳[10]、罗贞礼[11]等则是对影响生态安全的主要指标进行聚类分析得到阜新市、湖南省各分区的土地利用生态安全分类情况,从而得到研究区生态安全水平的整体分布。

松嫩平原位于黑龙江省西南部和吉林省西北部,是东北三大平原之一。自 20 世纪 50 年代以来,松嫩平原开发和建设速度加快,成为我国重要的重工业基地、粮食生产和能源基地。然而,人类活动对自然环境的干扰强度日益增大,大面积开荒、垦建脱节、重用轻养、超载过牧、环境污染等均导致了生态环境的恶化[12]。汤洁[13]、白淑英[14]王宗明[15]等对松嫩平原土地利用变化及其对区域生态系统服务价值的影响进行了研究,但对松嫩平原土地利用生态安全风险时空变化评价和预测还缺乏相关研究。因此,对松嫩平原生态安全做出评价显得更为重要和迫切。

## 1　数据来源与研究方法

### 1.1　数据来源

研究中所用的松嫩平原 1980,2000,2010 年 Landsat-5 TM 遥感影像,来源于中科院地面观测站,分辨率为 30 m。非遥感影像数据主要包括松嫩平原 90 m 分辨率数字高程模型(DEM)以及国家基础地理信息系统中 1∶400 万的全国铁路、省级公路矢量图。

### 1.2　研究方法

1.2.1　空间动态变化、转移矩阵分析模型　空间信息分析模型,测算动态变化速度和强烈程度。具体公式为:

$$TRL_i=[LA_{i,t_1}-ULA_i]/LA_{i,t_1}/(t_2-t_1)\times 100\% \quad (1)$$

$$IRL_i=(LA_{i,t_2}-ULA_i)/LA_{i,t_1}/(t_2-t_1)\times 100\% \quad (2)$$

$$CCL_i=[(LA_{i,t_2}-ULA_i)+(LA_{i,t_1})]/LA_{i,t_1}/(t_2-t_1)\times 100\%=TRL_i+TRL_i \quad (3)$$

式中:$TRL_i$——第 $i$ 种生态安全等级类型在研究时期的转移速率;$IRL_i$——第 $i$ 种生态安全等级类型的新增速率;$CCL_i$——第 $i$ 种生态安全等级类型的变化速率;$n$——区域内生态安全等级的类别数,$i\in(1,n)$;$LA_{i,t_1}$,$LA_{i,t_2}$——第 $i$ 类生态安全等级在研究期初期和末期的面积;$ULA_i$——研究期内第 i 种生态安全等级未变化面积;$t_1$,$t_2$——研究时段。

转移矩阵能够反映出生态安全等级变化的特征、结构与变化方向。转移矩阵的数学形式为:

$$\boldsymbol{S}_{ij}=\begin{bmatrix}S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1N}\\ S_{21} & S_{22} & & S_{2N}\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ S_{M1} & S_{M2} & \cdots & S_{MN}\end{bmatrix} \quad (4)$$

式中:$S$——面积;$n$——生态安全等级数;$i$,$j$——研究初期与研究末期的生态安全等级。

1.2.2　综合指数评价法　综合指数评价法综合考虑各个因子对总体对象的影响程度,把各个指标的优劣综合起来,用一个数值化指标加以集中,表示整个评价对象的优劣。表达式为:

$$C_{vj}=\sum_{i=1}^{m}Q_{vij}W_{ci} \quad (5)$$

式中:$C_{vj}$——评价因子的总值;$Q_{vij}$——对于因子 $j$ 的指标 $i$($Q_{ij}\geqslant 0$);$W_{ci}$——指标 $i$ 的权重值($0\leqslant W_{ci}\leqslant 1$),通过层次分析法(AHP)计算得出;$m$——评价指标个数。

1.2.3　层次分析法　层次分析法是一种有效的决策思维方法。它把复杂问题"分解"成各个组成因素,用两两比较的方法确定各层次中诸要素的相对重要性,对所要解决的复杂问题的各项进行综合判断,得出各指标重要的总体顺序和其权重。

1.2.4　马尔可夫预测模型　马尔可夫预测法,就是一种预测时间发生概率地方法。它是基于马尔科夫链,根据事件的目前状况预测其将来各个时刻(或时期)变动状况的一种预测方法。

## 2　结果与分析

### 2.1　松嫩平原土地利用分类

应用 ERDAS—IMAGE 9.1 对松嫩平原地区 1980,2000,2010 年 TM 影像进行土地利用分类,利用 GIS 将土地利用类型合并成 7 个一级分类,分别为草地、耕地、林地、水域、未利用地、建筑用地和湿地。并提取沙地、盐碱地、乡村居民点、城镇。以 2010 年土地利用(附图 7)、乡村居民点、盐碱地为例。

### 2.2　土地利用生态安全风险指标体系的建立

决定土地利用生态安全的因素主要包括土地利用类型、影响人类生活便捷的交通、高程、坡度等,以及影响人类生活质量的距离沙地、盐碱地距离等。综合相关文献及松嫩平原实际,确定生态安全评价指标 10 个并进行分级,根据因子对生态安全造成不利影响的程度值赋予阻力值。由于各个指标在土地利用生态安全综合评价中重要性不同,利用层次分析法(AHP)确定各个因子的权重值。各因子阻力值及相对权重详见表 1。

表 1 土地利用生态安全指标因子赋值及权重

| 指标因子 | 指标等级 | 项 目 | 阻力值 | 权重 | 指标因子 | 指标等级 | 项 目 | 阻力值 | 权重 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 坡度/(°) | 1 | 0°～5° | 1 | 0.028 9 | 高程/m | 1 | 600～450 | 1 | 0.028 9 |
| | 2 | 5°～10° | 5 | | | 2 | 450～300 | 10 | |
| | 3 | 10°～20° | 10 | | | 3 | ＞600 | 20 | |
| | 4 | 20°～30° | 20 | | | 4 | 300～200 | 50 | |
| | 5 | 30°～40° | 40 | | | 5 | 200～75 | 80 | |
| 土地利用类型 | 1 | 湿 地 | 1 | 0.240 7 | 距离沙地的距离/m | 1 | ＞10 000 | 1 | 0.123 4 |
| | 2 | 林 地 | 10 | | | 2 | 8 000～10 000 | 5 | |
| | 3 | 水 域 | 20 | | | 3 | 6 000～8 000 | 10 | |
| | 4 | 草 地 | 30 | | | 4 | 4 000～6 000 | 20 | |
| | 5 | 耕 地 | 50 | | | 5 | 2 000～4 000 | 50 | |
| | 6 | 未利用地 | 80 | | | 6 | 0～2000 | 80 | |
| | 7 | 建筑用地 | 100 | | | 7 | 沙 地 | 100 | |
| 距离盐碱地距离/m | 1 | ＞10 000 | 1 | 0.123 4 | 距离农村居民点的距离/m | 1 | ＞1 000 | 5 | 0.056 9 |
| | 2 | 8 000～10 000 | 5 | | | 2 | 500～1 000 | 40 | |
| | 3 | 6 000～8 000 | 10 | | | 3 | 0～500 | 60 | |
| | 4 | 4 000～6 000 | 20 | | | 4 | 农村居民点 | 100 | |
| | 5 | 2 000～4 000 | 50 | | 距离铁路的距离/m | 1 | ＞4 000 | 5 | 0.092 0 |
| | 6 | 0～2 000 | 80 | | | 2 | 2 000～4 000 | 50 | |
| | 7 | 盐碱地 | 100 | | | 3 | 0～2 000 | 100 | |
| 距离省级公路的距离/m | 1 | ＞2 000 | 5 | 0.044 0 | 距离城镇的距离/m | 1 | ＞4 000 | 5 | 0.103 9 |
| | 2 | 1 000～2 000 | 40 | | | 2 | 2 000～4 000 | 50 | |
| | 3 | 0～1 000 | 90 | | | 3 | 0～2 000 | 90 | |
| 景观多样性 | 1 | 0.763 9～0.881 8 | 20 | 0.157 8 | | 4 | 城 镇 | 100 | |
| | 2 | 0.646 0～0.763 9 | 40 | | | | | | |
| | 3 | 0.528 1～0.646 0 | 60 | | | | | | |
| | 4 | 0.410 2～0.528 1 | 80 | | | | | | |

2.3 土地利用生态安全风险分级及评价

2.3.1 松嫩平原土地利用生态安全风险分级 利用 GIS 对各指标数据进行处理并加权叠加得到生态安全综合评价指数 500 m×500 m 栅格图。

为更好地进行变深入化分析，根据生态安全综合指数状况进行等间距分级(表 2)。分别得到 1980，2010 年松嫩平原土地利用生态安全风险等级格局分布图(附图 8)。

松嫩平原土地利用生态安全风险在空间上呈现由东北向西南递增的趋势。东北部及东部边缘地区及流域附近多处于低风险区、较低风险区；西南部地区多处在中度风险区、较高风险区，局部及交通线附近地区处于高安全区。整体上看，黑河市、齐齐哈尔北部、绥化市北部、哈尔滨市生态安全水平优于齐齐哈尔市南部、绥化南部、大庆市、松原市、白城市、四平市、长春市。统计高、中、低风险等级面积，得到 1980—2010 年各生态安全风险等级比重变化情况(图 1)。在所有风险等级中，较低风险区所占比重最大，在 50%以上，其次为中度风险区、低风险区、较高风险区、高风险区。1980—2010 年，低风险区逐步减少趋势，中度风险区、较高风险区、高风险区呈现先减后增的趋势，较低风险区为先增后减趋势。可以看出 1980—2000 年，各风险区面积均减少并向较低风险区转化，表明生态环境压力有所缓解。而在 2000—2010 年，低、较低风险区均减少明显，约占 10%，向中、高风险转化趋势明显。

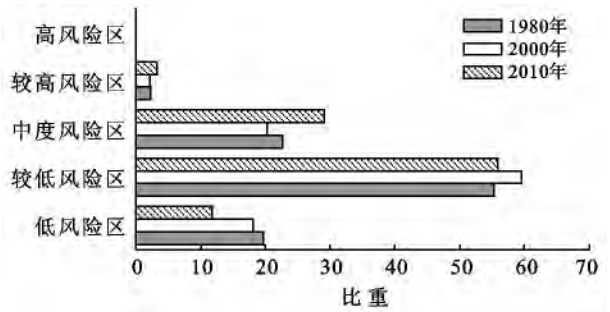



图 1 1980－2010 年松嫩平原土地利用生态安全等级比重变化

表 2 松嫩平原土地利用生态安全风险分级标准

| 风险等级 | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ | Ⅴ |
|---|---|---|---|---|---|
| 指数范围 | 0.000～15.484 | 15.484～30.968 | 30.968～46.452 | 46.452～61.936 | 61.936～77.420 |
| 风险等级 | 低风险 | 较低风险 | 中度风险 | 较高风险 | 高风险 |

2.3.2　松嫩平原土地利用生态安全风险时空动态变化分析　通过 ArcGIS 软件对 1980,2000,2010 年的生态安全等级矢量图进行数据融合叠加,得到生态安全等级类型的转移矩阵。并计算出各生态安全等级的未变化面积、转移面积和新增面积及转移速率、新增速率和变化速率,结果详见表 3。

表 3　松嫩平原生态安全的转移矩阵及动态变化率　　$km^2$

| 时段 | 风险区类型 | 低风险区 | 较低风险区 | 中度风险区 | 较高风险区 | 高风险区 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1980—2000 年 | 低风险区 | 40 662.96 | 5 504.28 | 43.3 | 0 | 0 |
| | 较低风险区 | 1 736.93 | 120 936.23 | 6 805.66 | 48.73 | 0 |
| | 中风险区 | 9.83 | 12 756.28 | 39 241.78 | 1 109.65 | 1.12 |
| | 较高风险区 | 0 | 254.34 | 1 366.67 | 3 755.54 | 44.93 |
| | 高风险区 | 0 | 0.09 | 5.86 | 59.08 | 96.86 |
| | 转移速率 | 0.6 | 0.33 | 1.31 | 1.53 | 2 |
| | 转移速率 | 0.19 | 0.71 | 0.77 | 1.12 | 1.41 |
| | 变化速率 | 0.79 | 1.05 | 2.08 | 2.65 | 3.41 |
| 2000—2010 年 | 低风险区 | 24 106.73 | 17 510.73 | 768.37 | 20.10 | 0 |
| | 较低风险区 | 3 254.36 | 10 2916.48 | 32 206.53 | 1 072.65 | 1.47 |
| | 中风险区 | 29.93 | 9 982.31 | 33 739.31 | 3 618.92 | 92.89 |
| | 较高风险区 | 0 | 469.18 | 1 663.88 | 2 690.91 | 148.86 |
| | 高风险区 | 0 | 0 | 7.93 | 45.37 | 89.61 |
| | 转移速率 | 2.16 | 1.31 | 1.45 | 2.29 | 1.87 |
| | 转移速率 | 0.39 | 1 | 3.65 | 4.78 | 8.51 |
| | 变化速率 | 2.54 | 2.31 | 5.1 | 7.08 | 10.38 |

1980—2000 年,高风险等级、较高风险等级、中度风险等级、低风险等级以转出为主,而增加明显的为较低风险等级,转移特征表现出松嫩平原的生态安全等级有缓解的趋势。2000—2010 年,中度、较高、高风险等级的新增速率均明显大于转移速率,表明低、较低风险等级面积有所减少,中度、较高、高风险等级增加显著。

2.4　土地利用生态安全风险预测

提取研究期前期(2000 年)和后期(2010 年)生态安全等级的状态,各等级占总面积的比例量化表示为:

$A(0)=(0.180\ 9,0.594\ 8,0.202\ 5,0.021\ 2,0.000\ 6)$

$A(n)=(0.116\ 9,0.558\ 1,0.291\ 7,0.031\ 8,0.001\ 4)$

根据松嫩平原 2000—2010 年生态安全的转移矩阵和 2000 年初始生态安全等级状态计算得出两期生态安全等级类型变化转移概率矩阵。

生态安全等级转移概率的计算方法为:2010 年生态安全等级类型的增加面积除以 2000 年向其转出的生态安全等级类型的面积总数,则为 2000—2010 年该生态安全等级类型的转移概率,其转移步长为 10。从而得到 2000 年各类生态安全等级转变为 2010 年的各类生态安全等级的转移概率矩阵 $\boldsymbol{P}_{ij}$。

$$\boldsymbol{P}_{ij}=\begin{bmatrix}0.568\ 4 & 0.412\ 8 & 0.018\ 1 & 0.000\ 5 & 0\\ 0.023\ 3 & 0.738\ 1 & 0.231\ 0 & 0.007\ 7 & 0\\ 0.000\ 6 & 0.210\ 3 & 0.710\ 9 & 0.076\ 3 & 0.002\ 0\\ 0 & 0.094\ 3 & 0.334\ 6 & 0.541\ 1 & 0.029\ 9\\ 0 & 0 & 0.055\ 5 & 0.317\ 5 & 0.627\ 1\end{bmatrix}$$

根据 $A(n)$ 以及松嫩平原 2000—2010 年生态安全的转移概率矩阵对松嫩平原生态安全进行预测。预测结果详见表 4。

表 4　松嫩平原生态安全预测表 2020－2050 年

| 年 份 | 项 目 | 低风险等级 | 较低风险等级 | 中度风险等级 | 较高风险等级 | 高风险等级 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2020 | 百分比/% | 7.97 | 52.46 | 34.91 | 4.42 | 0.24 |
| | 面积/$km^2$ | 18 671.96 | 122 968.17 | 81 840.16 | 10 371.50 | 564.18 |
| 2030 | 百分比/% | 5.77 | 49.77 | 38.57 | 5.54 | 0.35 |
| | 面积/$km^2$ | 13 534.21 | 116 666.99 | 90 423.94 | 12 986.54 | 825.80 |
| 2040 | 百分比/% | 4.47 | 47.75 | 40.90 | 6.44 | 0.46 |
| | 面积/$km^2$ | 10 472.44 | 111 946.93 | 95 867.04 | 15 088.31 | 1 084.88 |
| 2050 | 百分比/% | 3.68 | 46.30 | 42.36 | 7.12 | 0.56 |
| | 面积/$km^2$ | 8 625.52 | 108 542.02 | 99 308.31 | 16 685.13 | 1 320.85 |

从预测结果可以看出，松嫩平原仍以较低风险等级与中度风险等级为主体，占到总面积的 85%以上，不过较低风险等级比重逐步减少，中度风险等级比重在增大。低风险等级与较高风险等级总体约 10%，低风险等级比重逐步减小，较高风险等级比重逐步增加。高风险等级比重一直在 1%以下，但是每 10 a 增加约 0.1%，面积逐步扩大。总体来看，未来 40 a 内，松嫩平原生态安全等级结构恶化趋势明显，应当引起相关部门的注意。

## 3 结 论

(1) 松嫩平原土地利用生态安全风险在空间上呈东北向西南递增的趋势。东北部、东部边缘地区及流域附近多处于低风险区、较低风险区，而西南部地区多处在中度风险区、较高风险区，西南部地区的局部及交通线附近处于高安全区。

(2) 从等级结构上看较低风险区所占比重最大，在 50%以上，其次为中度风险区、低风险区、较高风险区、高风险区。1980—2000 年，较低风险等级增加明显，其它等级以转出为主。生态环境压力有所缓解。而在 2000—2010 年，低风险区和较低风险区均减少明显，约 10%，向中、高风险转化趋势明显。生态环境恶化趋势明显。

(3) 预测表明 2020—2050 年松嫩平原中度风险等级、较高风险等级、高风险等级均表现出逐步递增，土地利用生态安全等级结构恶化趋势明显。

(4) 1980—2010 年，松嫩平原土地利用生态安全水平恶化趋势明显。究其原因主要是生态系统自身的脆弱性与人类活动强烈干预的结果。松嫩平原土地资源空前开发的历史，使得耕地面积增加的同时破坏了原有植被，土地风蚀、沙化、盐碱化日益加剧。1980—2010 年，耕地面积增加了 16 613.5 $km^2$，成为最主要的土地利用类型，比重接近 60%。湿地、林地、草地均有所减少。湿地面积减少最为明显，减少了 5.08%，同时由于城市化进程加快，建设用地面积、城镇居民点的分布增加明显。虽然 20 世纪 80 年代中期至今开垦高潮已过，国家生态退耕、森林保护等生态政策的实施，沙化土地面积基本得到控制，局部碱化土地有所改良，但速度缓慢，生态安全问题仍十分严峻。只有使该区域生态、经济和社会效益有机结合、相互协调，因地制宜地采取合理措施才能确保松嫩平原土地利用生态安全整体水平的恢复和稳定的发展。

[ 参 考 文 献 ]


[1] 刘红，王慧，张兴卫. 生态安全评价研究述评[J]. 生态学杂志，2006，25(1)：74-78.

[2] 汪西林，谢宝元，关文彬. 泥石流多发区生态安全评价：以汶川县为例[J]. 生态学杂志，2008，27(11)：1990-1996.

[3] Weng Changhua，Zhang Luoping，David K. Definitions and progress of ecosystem health and ecological security [J]. Ecological Economy，2006，2(3)：327-336.

[4] 谢花林. 基于 GIS 的典型农牧交错区土地利用生态安全评价[J]. 生态学杂志，2008，27(1)：135-139.

[5] 范瑞锭，陈松林，戴菲，等. 福建省土地利用生态安全评价[J]. 福建师范大学学报：自然科学版，2010，26(5)：97-108.

[6] 曲青林，曹爱霞，刘学录. 兰州市土地利用生态安全评价[J]. 环境科学研究，2009，22(6)：753-756.

[7] 吕建树. 济宁市土地利用生态安全研究[D]. 山东 济南：山东师范大学，2011：62-88.

[8] 王庆日，谭永忠，薛继斌，等. 基于优度评价法的西藏土地利用生态安全评价研究[J]. 中国土地科学，2010，24(3)：48-54.

[9] 张虹波，刘黎明，张军连，等. 区域土地资源生态安全评价的物元模型构建及应用[J]. 浙江大学学报：农业与生命科学版，2007，33(2)：222-229.

[10] 鲍艳，胡振琪，柏玉，等. 主成分聚类分析在土地利用生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报，2006，22(8)：87-90.

[11] 罗贞礼. 土地利用生态安全评价指标的系统聚类分析[J]. 湖南地质，2002，21(4)：252-254.

[12] 罗新正，朱坦，孙广友. 人类活动对松嫩平原生态环境的影响[J]. 中国人口·资源与环境，2002，12(4)：94-99.

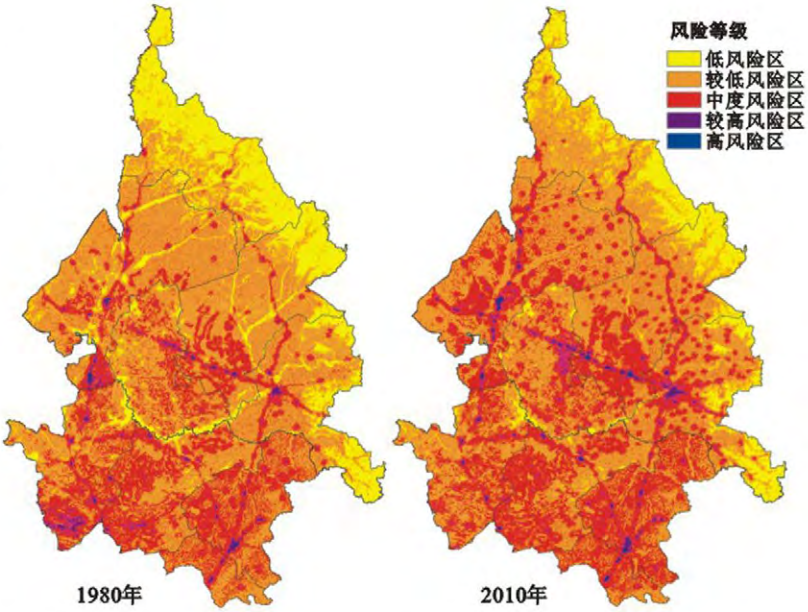
[13] 汤洁，汪雪格，斯蔼，等. 松嫩平原土地利用变化的聚类分析[J]. 干旱区研究，2008，25(6)：829-834.

[14] 白淑英，张树文，张养贞. 松嫩平原土地利用/覆被变化的动态过程分析：以大庆市杜尔伯特蒙古族自治县为例[J]. 资源科学，2007，29(4)：164-169.

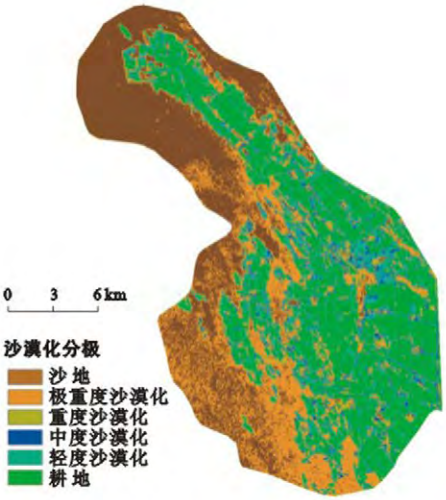
[15] 王宗明，张柏，宋开山，等. 松嫩平原土地利用变化对区域生态系统服务价值的影响研究[J]. 中国人口·资源与环境，2008，18(1)：149-154.



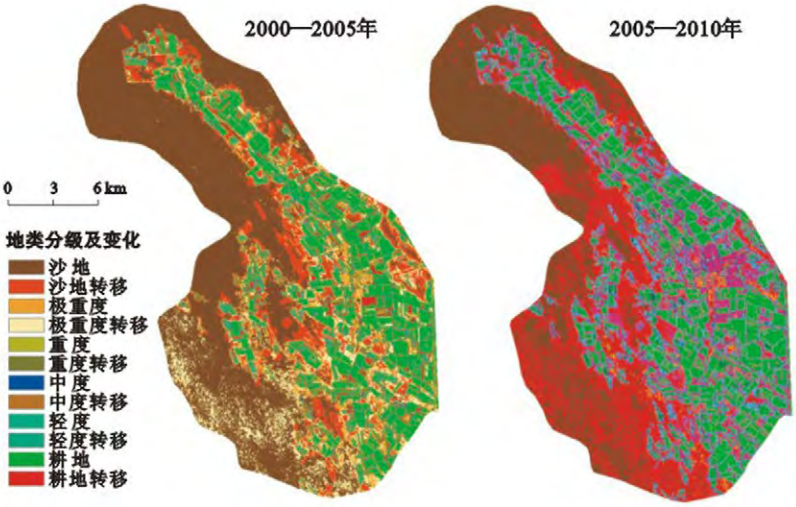

附图7　松嫩平原2010年土地利用状况



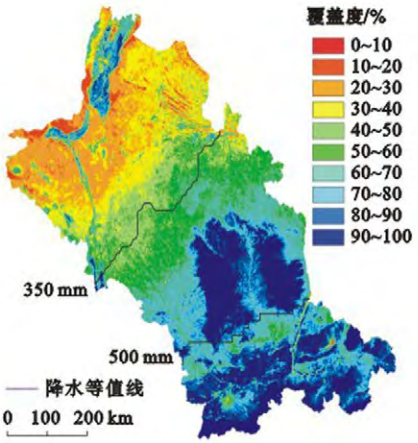

附图8　松嫩平原1980和2010年土地利用生态安全风险等级分布格局



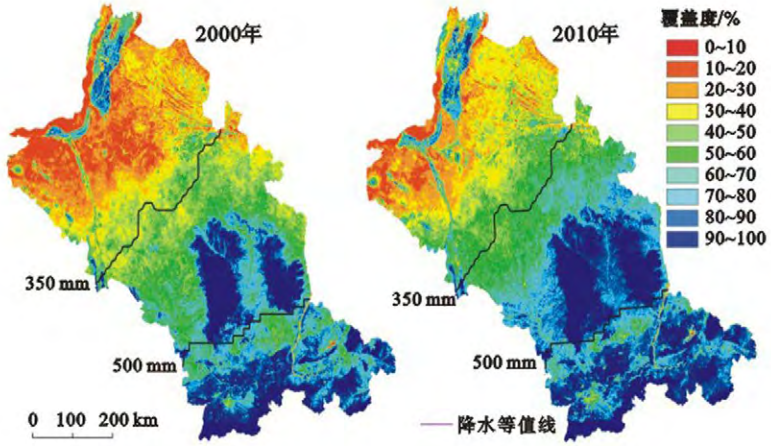

附图9　新疆石河子150团沙漠化分级




附图10　新疆石河子150团2000—2010年沙漠化发展变化




附图11　黄土高原中部2000和2010年降水梯度带平均植被覆盖度




附图12　黄土高原中部2000和2010年降水梯度带植被覆盖度对比