

牡丹江市退耕还林前后生态安全评价

高凤杰, 雷国平^{*}, 杨凤海, 宋戈, 杜国明

(东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 退耕还林工程是当前中国最为宏大的生态修复与重建工程, 开展区域退耕还林前后生态安全评价, 可综合检验退耕还林成效, 并为进一步巩固退耕还林成果、制定区域环保规划及可持续发展战略规划等提供决策依据。该文在深入分析生态安全本质的基础上, 结合压力-状态-响应模型, 构建了退耕还林区域生态安全评价指标体系, 并采用物元模型对牡丹江市退耕还林前后生态安全进行评价。结果表明: 1) 退耕后, 市区及绥芬河市生态安全等级下降, 分别由较安全和安全降至临界安全, 其他地区生态安全等级没有变化; 2) 各地区生态安全隶属度变化显著, 表现为宁安地区生态安全隶属度值下降, 而东宁、林口、海林、穆稜等地区生态安全隶属度值增加, 其生态环境质量得到改善。概言之, 物元模型能够揭示单个评价指标的分异信息, 研究结果符合研究区实际情况。

关键词: 模型, 生态, 环境保护, 物元模型, 退耕还林, 牡丹江市

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.02.036

中图分类号: P967, X87

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-02-0206-09

高凤杰, 雷国平, 杨凤海, 等. 牡丹江市退耕还林前后生态安全评价[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 206-214.

Gao Fengjie, Lei Guoping, Yang Fenghai, et al. Eco-security evaluation before and after the Grain for Green project in Mudangjiang city[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(2): 206-214. (in Chinese with English abstract)

0 引言

鉴于目前在全球范围内自然灾害的频繁发生, 人们对生态环境保护的意识日益增强, 对生态安全的关注度倍增, 国际上已把生态安全纳入一个国家安全体系的重要组成部分, 与军事安全、政治安全、经济安全、科技安全一样, 在国家安全大局中占有重要地位^[1-2]。目前学术界在生态安全问题评述、生态安全概念探讨、生态安全评价指标确定、基因工程生物的生态风险与生态安全、生态入侵、生态系统健康评价、生态安全评价方法、模型和生态安全预警等方面展开了大量研究^[3-6], 在实践应用方面多集中在生态脆弱区^[7-8]。退耕还林工程是当前中国最为宏大的生态修复与重建工程, 其终极目标是为区域乃至全国的社会经济可持续发展提供优良的生态环境基础和优良的生物资源库。开展退耕还林区域生态安全评价研究, 可综合检验退耕还林成效, 并为进一步巩固退耕还林成果、制定区域环保规划及可持续发展战略规划等提供决策依据, 因此具有重要研究意义, 而目前国内外还没有相关文献研究。

区域生态安全是当今生态安全研究的重要领域, 而

生态安全评价又是生态安全研究的基础与核心。生态安全评价是一种复杂的多层次、多目标的评价过程, 它是协调社会经济发展与生态环境保护、促进可持续发展的重要措施之一^[9]。目前, 已有的区域生态安全评价多采用综合指数评价法^[10-11], 其方法是将分散的信息通过模型集成, 再进行综合值分级来评价研究对象的综合水平, 但该方法无法识别单指标、总体指标与评价等级之间的隶属程度, 也会遗漏单指标之间的一些评价信息^[12], 而物元分析法首先对每个评价指标进行分级区间界定, 通过单指标的关联函数计算得到单指标的生态安全状态, 关联函数属于 $(-\infty, +\infty)$, 极大地拓展了它的研究范围, 能提示更多的分异信息, 再通过模型集成得到多指标的综合生态安全水平, 因此结果更加客观科学^[13]。本文从论述生态安全本质出发, 结合目前应用广泛且框架较为成熟的压力-状态-响应模型, 尝试构建退耕还林地区生态安全评价指标体系, 并以黑龙江省牡丹江市为研究实例, 采用物元模型分析评价牡丹江市退耕还林前后区域生态安全状况, 以期相关部门提供决策支持。

1 研究区概况及资料来源

1.1 研究区概况

牡丹江市位于黑龙江省东南部(128°02'~131°18'E, 43°24'~45°59'N), 地处张广才岭、老爷岭山脉, 地形以山地和丘陵为主, 总面积3.89万km²。其中, 山地总面积占86.3%(中山占13.4%, 低山72.9%), 丘陵占8.6%, 平原(包括内陆水域)占5.5%^[14]。气候属半湿润中温带大陆性季风气候, 年平均气温4.9~6.1℃, 年降水量500~600mm, 无霜期115~152d。牡丹江市林业资源丰富, 是黑龙江省著名的三大林区之一, 也是中国森林覆盖率

收稿日期: 2010-12-14 修订日期: 2011-09-23

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2007BAD87B03-1); 国家自然科学基金项目(41071346, 40801059); 东北农业大学“寒地黑土保护及黑土资源可持续利用技术”创新团队项目。

作者简介: 高凤杰(1981-), 女, 河北迁西人, 博士, 主要从事遥感与地理信息系统应用研究。哈尔滨 东北农业大学资源与环境学院, 150030。Email: gaofengjie@126.com

*通信作者: 雷国平(1963-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 教授, 博导, 主要从事资源环境遥感应用研究。哈尔滨 东北农业大学资源与环境学院, 150030。Email: guopinglei@126.com

最高的地区之一。但近几十年，由于人口增长过快，经济发展不均衡以及人们生态环境意识差等原因，致使毁林开荒、顺坡垄作、只种不养等现象时有发生，再加上山区地形复杂，降雨集中，因此水蚀非常严重。据统计，全市水土流失面积 7 306 km²，其中坡耕地流失面积 4 515 km²，占耕地总面积的 73.8%^[15]。由于水土流失，坡耕地地力减退，沟壑增多，农作物产量持续下降，生态环境不断恶化。1999 年，牡丹江市于黑龙江省率先实行退耕还林工程，截止到 2008 年，退耕还林工程已实施 10 a，共退耕 10 万多公顷^[16]，科学界定退耕还林工程生态安全效应具有重要意义。

1.2 数据来源与处理

选取退耕还林前后 2000 年及 2008 年两期覆盖研究区作物生长季 6—9 月份 Landsat TM 影像共 12 景，以 1：10 万地形图为基准进行几何纠正和配准，建立解译标志；在 Arc/Map GIS 环境下，进行人机交互式判读解译；进行外业精度验证，通过对解译结果进行随机选点，GPS 点属性校验结果表明，土地利用类型判别的准确率达到了 95% 以上。将所得数据在 Arc/Info 环境下进行编辑和修改，得到研究区 2 期土地利用数据。选取退耕还林前后两期 MODIS NDVI 植被指数产品，成像时间分别为 2000-06-25 日及 2008-06-25，数据格式为 EOS-HDF，空间分辨率及时间分辨率分别为 250 m 和 16 d。使用 NASA 免费提供的 MRT (MODIS Reprojection Tools) 软件进行数据格式及地图投影转换，把 HDF 格式转化为 Tiff 格式，把 Sinusoidal 地图投影转换为 Albers Equal Area。在 ERDAS 8.5 中完成图像裁剪，用于区域植被盖度估算。搜集研究区 2001 年及 2009 年统计年鉴及相关专题成果文本，用于安全评价中社会经济因子分析。

2 生态安全评价方法

2.1 评价指标体系

区域生态安全指标体系建立是区域生态安全评价的基础，选取的指标不仅能反应区域生态环境问题，更要揭示生态安全本质。尽管目前学术界还没有给生态安全下一个确切的定义，但众多学者在生态安全本质上进行了有意义的探讨。肖笃宁等^[3]认为生态安全与生态风险互为反函数；王根绪等^[4]认为生态安全与生态健康互为正比关系，而生态系统健康可以从活力 (Vigor)、组织结构 (organization) 和恢复力 (Resilience) 3 个主要特征定义；崔胜辉等^[17]认为生态安全的本质有两个方面，一个是生态风险，另一个是生态脆弱性，生态安全的科学本质是通过脆弱性分析与评价，利用各种手段不断改善脆弱性，降低风险。综观以上观点，笔者认为生态安全本质为区域生态环境在自然和人为干扰条件下能维持自身系统的稳定性及健康状态，不断改善自身系统的脆弱性，保证为人类提供服务的质量和数量能够持续满足人类生存和发展的需求，从而达到生态环境与社会经济的长期协调发展。基于此认识，笔者生态安全本质嵌入到目前广泛应用的压力-状态-响应模型 (P-S-R, press-station-

response) 中，构建了牡丹江市退耕还林生态安全评价指标体系 (图 1, 表 1)。

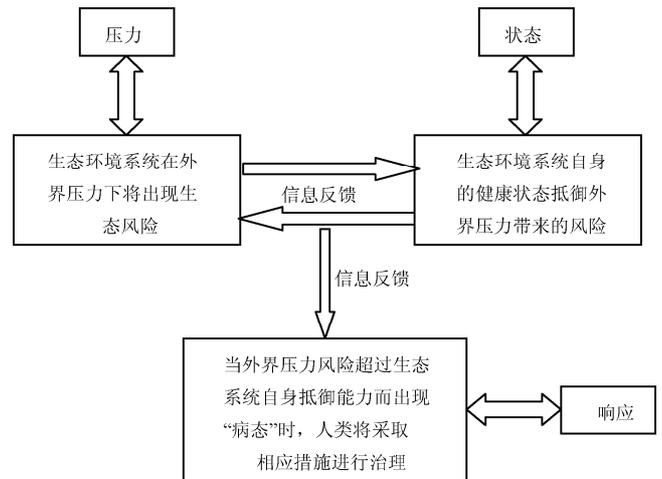


图 1 牡丹江市退耕还林生态安全压力-状态-响应模式
Fig.1 Press-situation-response model of eco-security under the Grain for Green in Mudanjiang city

表 1 牡丹江市退耕还林生态安全评价指标体系
Table 1 Eco-security evaluation index system under the Grain for Green background in Mudanjiang city

目标层	准则层	因素层	指标层	数据来源	备注
区域生态安全评价 A ₁	自然环境压力 C ₁	土壤可蚀性 D ₁ (0.0155)	土壤可蚀性 D ₁ (0.0155)	遥感调查	生态系统活力指标
			年降雨侵蚀力 D ₂ (0.0292)	遥感调查	
			坡度 D ₃ (0.0467)	遥感调查	
	人文压力 C ₂	人口增长	人口增长率 D ₄ (0.0146)	统计资料	
			人口密度 D ₅ (0.0146)	统计资料	
			人均耕地 D ₆ (0.016)	统计资料	
			人类干扰指数 D ₇ (0.109)	遥感调查	
	污染压力 C ₃	地膜使用	地膜使用强度 D ₈ (0.0147)	统计资料	
			农药使用强度 D ₉ (0.0147)	统计资料	
			化肥使用强度 D ₁₀ (0.0147)	统计资料	
			土壤 C ₄	土壤有机质含量 D ₁₁ (0.0674)	
生态环境状态 B ₂	植被 C ₅	植被覆盖度 (NDVI) D ₁₂ (0.127)	遥感调查		
		水土流失 C ₆	土壤侵蚀强度 D ₁₃ (0.127)	遥感调查	
	生态恢复力 C ₇	生态环境弹性 D ₁₄ (0.127)	遥感调查		
		系统稳定性 C ₈	景观稳定性指数 D ₁₅ (0.127)	遥感调查	
生态环境响应 B ₃	环境响应 C ₉	水土流失治理强度 D ₁₆ (0.0662)	统计资料		
		三废治理强度 D ₁₇ (0.0337)	专题成果		
	经济响应 C ₁₀	人均 GDP D ₁₈ (0.0258)	统计资料		
人文社会响应 C ₁₁		初中以上文化人口率 D ₁₉ (0.0133)	统计资料		

表 1 中，各指标的意义和计算如下：

生态环境压力 B₁ 从自然环境压力、人文压力和污染压力三方面选取，其中自然环境压力包括土壤可蚀性 D₁、年降雨侵蚀力 D₂ 和坡度 D₃，人文压力包括人口增长率 D₄、人口密度 D₅、人均耕地 D₆ 和人类干扰指数 D₇，污染压力包括地膜使用强度 D₈、农药使用强度 D₉ 和化肥使用强度 D₁₀。生态环境状态 B₂ 从土壤、植被、水土流失、

生态系统恢复力和生态系统稳定性等几个方面选取指标, 其中, 土壤有机质含量 D_{11} 和植被覆盖度 (NDVI) D_{12} 属于生态系统活力指标, 土壤侵蚀强度 D_{13} 反应了区域水土保持能力, 生态环境弹性 D_{14} 反应系统在受外界干扰后恢复到原来状态的能力, 二者属于生态系统恢复力指标, 景观稳定性指数 D_{15} 属于生态系统组织指标。生态环境响应 B_3 从环境响应、经济响应和人文社会响应三方面选取指标, 其中水土流失治理强度 D_{16} 和三废治理强度 D_{17} 属于环保政策指标, 人均 GDP D_{18} 和初中以上文化人口率 D_{19} 属于环保意识指标。

上述各指标中, D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_{12} 、 D_{13} 计算见文献[18]。人类干扰指数 D_7 由景观破碎度衡量, 一般而言, 景观破碎化主要表现两个方面: 一是景观斑块面积由大变小, 二是随着斑块面积的减少和地理空间隔离程度的增加产生的景观结构破碎化^[19], 因此景观破碎度可表示为:

$$F = \frac{P}{C} \quad (1)$$

式中, F 为景观破碎度指数, P 为斑块密度指数, C 为景观蔓延度指数。 P 与 C 的计算见文献[20]。

生态环境弹性 D_{14} 表示生态系统自我调节和自我恢复能力, 在内外扰动或压力不超过其弹性限度时, 生态环境系统在偏离原来状态后可恢复到原有状态, 用来反映特定生态环境系统缓冲与调节能力^[21]。生态环境弹性可用以下模型定量描述:

$$ECO = SHDI \sum_{i=1}^8 s_i \times p_i \quad (2)$$

式中, ECO 为生态环境弹性, s_i 为用地类型 i 的面积比例, p_i 为用地类型 i 的弹性分值, $SHDI$ 为多样性指数。针对牡丹江地区自然地理状况及土地利用特点, 经多名专家打分修订后得到研究区各用地类型弹性分值: 有林地, 100; 灌木林、高覆盖草地, 86; 疏林地、其他林地, 78; 沼泽, 72; 中低覆盖草地, 67; 水域, 53; 水田, 36; 平川旱田, 32; 城乡建筑及工矿用地, 29; 坡耕地、未利用土地, 6。

土壤有机质含量 D_{11} 通过实地采样并进行实验室分析, 最后通过空间插值完成, 景观稳定性指数 D_{15} 采用文献[22]的方法计算。

2.2 指标权重确定

本文采用主观赋权法 AHP 与客观赋权法熵权法两种方法获取权重的均值作为各评价指标权重, 具体计算方法与过程请参见文献[23]。

2.3 物元评价模型

物元分析是中国学者蔡文于 20 世纪 80 年代提出的用于解决矛盾问题的理论方法^[24], 它以促进事物转化、解决不相容问题为核心, 适合于多因子的评价问题, 目前已广泛应用于生态环境、水资源承载力和土地整理潜力等的相关评价中^[25-26]。

2.3.1 确定生态安全物元

根据物元理论, 生态安全水平 N 、生态特征 c 和特征量值 v 构成生态安全物元素。假设区域生态安全 N 有多

个特征, 由 n 个特征 c_1, c_2, \dots, c_n 和相应的量值 v_1, v_2, \dots, v_n 描述, 则物元表示为

$$R = \begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix}$$

R 为生态安全物元, 简记 $R = (N, c, v)$ 。

2.3.2 确定生态安全经典域与节域物元矩阵

设有 m 个生态安全等级 N_1, N_2, \dots, N_m , 建立相应的物元

$$R_j = ((N_j, c_i, v_{ji})) \begin{bmatrix} N_j & c_1 & v_{j1} \\ & c_2 & v_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & \langle a_{j1}, b_{j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{jn}, b_{jn} \rangle \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中, N_j 表示所划分的 j 个生态安全等级 ($j=1, 2, \dots, m$), c_i ($i=1, 2, \dots, n$) 表示安全等级 N_j 的特征, v_{ji} 分别为 N_j 关于 c_i 所规定的量值范围, 即各生态安全等级关于对应特征所取的数值范围, 称 R_j 为生态安全的经典域。对于经典域, 构造其节域 R_p , 且 $R_p \supset R_j$ 。

$$R_p = ((N_p, c_i, v_{ip})) \begin{bmatrix} N_p & c_1 & v_{1p} \\ & c_2 & v_{2p} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & \langle a_{1p}, b_{1p} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{2p}, b_{2p} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{np}, b_{np} \rangle \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中, N_p 表示生态安全等级的全体, v_{ip} 为 N_p 关于 c_i 所取的量值范围。

2.3.3 确定待评物元

将待评对象 N_x 的物元表示为 R_x

$$R_x = \begin{bmatrix} N_x & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix}$$

2.3.4 确定关联函数及关联度

待评对象关于各安全等级的关联度用关联函数计算, 第 i ($i=1, 2, \dots, n$) 个指标数值域属于第 j ($j=1, 2, \dots, m$) 个安全等级的关联函数为

$$K_j(v_i) = \begin{cases} -\frac{\rho(v_i, V_{ij})}{|V_{ij}|} & v_i \in V_{ij} \\ \frac{\rho(v_i, V_{ij})}{\rho(v_i, V_{ip}) - \rho(v_i, V_{ij})} & v_i \notin V_{ij} \end{cases} \quad (5)$$

$$\rho(v_i, V_{ij}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{ij} + b_{ij}) \right| - \frac{1}{2}(b_{ij} - a_{ij}) \quad (6)$$

$$\rho(v_i, V_{ip}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{ip} + b_{ip}) \right| - \frac{1}{2}(b_{ip} - a_{ip}) \quad (7)$$

$$|V_{ij}| = b_{ij} - a_{ij} \quad (8)$$

式中, $K_j(v_i)$ 为各安全因子关于安全级别 j 的关联度;

$\rho(v_i, V_{ij})$ 为点 v_i 与有限区间 $V_{ij} = \langle a_{ij}, b_{ij} \rangle$ 的距; $\rho(v_i, V_{ip})$ 为点 v_i 与有限区间 $V_{ip} = \langle a_{ip}, b_{ip} \rangle$ 的距。其中, v_i 为评价因子的实际数值, $V_{ij} = \langle a_{ij}, b_{ij} \rangle$ 为经典域, $V_{ip} = \langle a_{ip}, b_{ip} \rangle$ 为节域。

关联度数值 $k(x)$ 在实数轴上的大小表征了待评对象隶属于生态安全水平某一标准的程度, 当 $k(x) \geq 1.0$ 时, 表示待评对象超过标准对象上限, 数值越大, 开发潜力愈大; 当 $0 \leq k(x) < 1.0$ 时, 表示待评对象符合标准对象要求的程度, 数值越大, 愈接近标准上限; 当 $-1.0 \leq k(x) < 0$ 时, 表示待评对象不符合标准对象要求, 但具备转化为标准对象的条件, 且数值愈大, 愈易转化; 当 $k(x) < -1.0$ 时, 表示待评对象不符合标准对象要求, 又不具备转化成标准对象的条件。

2.3.5 待评对象的等级综合关联度和质量等级

待评对象 N_x 关于生态安全标准等级 j 的综合关联度 $K_j(N_x)$ 为

$$K_j(N_x) = \sum_{i=1}^n a_i K_j(x_i) \quad (9)$$

式中, $K_j(N_x)$ 为待评对象 N_x 关于等级 j 的综合关联度; $K_j(x_i)$ 为待评对象 N_x 的第 i 个指标关于标准等级 j 的单指标关联度 ($j=1, 2, \dots, m$); a_i 为各评价指标的权重。若

$$K_{ji} = \max[k_j(x_i)] \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

则待评对象第 i 指标属于生态安全等级 j 。若

$$K_{ix} = \max(k_j(N_x)) \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

则待评对象 N_x 属于生态安全等级 j 。

3 结果分析

3.1 牡丹江市生态安全各指标原始值

据 2.1 计算得到牡丹江市退耕还林前后 2000 年及 2008 年各指标原始值 (表 2)。

表 2 退耕还林前后各市县各指标原始值
Table 2 Original value of each index of counties before and after the Grain for Green project

年份	指标	市区	东宁	林口	绥芬河	海林	宁安	穆棱
2000 年	D ₁ /(t·h·MJ ⁻¹ ·mm ⁻¹)	0.2767	0.2699	0.2659	0.2781	0.2736	0.2755	0.2724
	D ₂ /(MJ·mm·hm ⁻² ·h ⁻¹ ·a ⁻¹)	71.3003	45.6622	94.2796	45.3082	80.9904	61.8391	73.5509
	D ₃ / (°)	8.1262	10.3046	10.0355	9.2029	11.4171	8.05642	8.7861
	D ₄ /%	4.05	5.58	9.04	13.25	4.79	4.82	2.89
	D ₅ /(人·km ⁻²)	582.5	27.8	60.4	113.2	44.7	55.2	48.4
	D ₆ /(hm ² ·人 ⁻¹)	0.0352	0.2263	0.2558	0.0222	0.1598	0.3121	0.2464
	D ₇ /无量纲	0.4279	0.1499	0.4223	0.1607	0.1821	0.2148	0.2108
	D ₈ /无量纲	125	191	691	6	185	660	254
	D ₉ /无量纲	85	100	377	3	251	555	158
	D ₁₀ /无量纲	2729	4359	12716	282	8234	19463	7088
	D ₁₁ /%	1.99	4.79	4.32	2.76	4.37	3.7	3.75
	D ₁₂ /%	75.3288	89.3148	80.5371	87.8795	84.2603	82.7623	86.5771
	D ₁₃ /无量纲	54.4096	22.6472	101.002	26.0823	117.384	36.3532	34.043
	D ₁₄ /无量纲	77.8214	58.2481	72.1496	67.8109	63.6061	81.4135	70.5202
	D ₁₅ /无量纲	3.7383	4.5318	3.8298	4.4488	4.4481	3.9439	4.1333
	D ₁₆ /无量纲	1	1	2	0	4.8	4.7	3
	D ₁₇ /无量纲	5	1.7	2.6	2.8	1	1.2	3.4
	D ₁₈ /(元·人 ⁻¹)	9840	6518	4142	17197	5289	5833	8022
	D ₁₉ /%	5.437	5.69	4.016	6.13	5.16	6.507	5.63
2008 年	D ₁ /(t·h·MJ ⁻¹ ·mm ⁻¹)	0.2766	0.2699	0.2659	0.2781	0.2737	0.2755	0.2724
	D ₂ /(MJ·mm·hm ⁻² ·h ⁻¹ ·a ⁻¹)	68.2223	57.7578	149.336	97.1968	106.563	60.4678	82.6741
	D ₃ / (°)	8.1262	10.3046	10.0355	9.2029	11.4171	8.0564	8.7861
	D ₄ /%	0.79	2.29	5.36	7.94	2.92	7.04	7.85
	D ₅ /(人·km ⁻²)	593.9	29	61.5	243.2	44.6	53.7	50.1
	D ₆ /(hm ² ·人 ⁻¹)	0.0211	0.1553	0.1747	0.04084	0.1036	0.23607	0.1201
	D ₇ /无量纲	0.4268	0.1505	0.4317	0.1715	0.1783	0.2217	0.2155
	D ₈ /无量纲	179	169	619	5	278	797	195
	D ₉ /无量纲	139	188	560	6	449	1140	399
	D ₁₀ /无量纲	4002	7050	14686	242	9793	22600	7963
	D ₁₁ /%	2	5	4.5	3	5	3.8	4
	D ₁₂ /%	75.3771	88.7732	82.2725	83.1735	86.1965	84.165	87.2028
	D ₁₃ /无量纲	63.57	46.3013	36.1244	57.3852	36.3834	27.9429	52.3477
	D ₁₄ /无量纲	79.8402	57.7349	73.8791	67.9349	62.9357	82.0886	69.5335
	D ₁₅ /无量纲	3.8108	4.5596	3.9202	4.4469	4.4862	3.9955	4.2301
	D ₁₆ /无量纲	1	3	3.9	1	5	4	6
	D ₁₇ /无量纲	6	2	3	3	1	2	4
	D ₁₈ /(元·人 ⁻¹)	13746	16410	6619	39055	11085	10431	13269
	D ₁₉ /%	5.51	5.923	3.926	6.49	4.99	5.96	4.33

3.2 生态安全评价经典域、节域的确定

依据生态安全水平的可拓性, 将其划分为 5 个等级, 即 I → V。设 P 为生态安全等级集合, p 为待评对象, $P = \{\text{很不安全} \rightarrow \text{不安全} \rightarrow \text{临界安全} \rightarrow \text{较安全} \rightarrow \text{安全}\}$, $N_{01} = \{\text{很不安全}\}$ 、 $N_{02} = \{\text{不安全}\}$ 、 $N_{03} = \{\text{临界安全}\}$ 、 $N_{04} = \{\text{较安全}\}$ 、 $N_{05} = \{\text{安全}\}$, 则 N_{01} 、 N_{02} 、 N_{03} 、 N_{04} 和 $N_{05} \in P$,

任何 $p \in P$, 判断 p 属于 N_{01} 、 N_{02} 、 N_{03} 、 N_{04} 或 N_{05} , 并计算隶属度。经典域的确定主要参照全国平均水平、国家环保总局《生态县、生态市、生态省建设指标(试行)》标准值以及牡丹江市平均水平等, 据此建立的生态安全评价经典域物元矩阵 R_{01} 、 R_{02} 、 R_{03} 、 R_{04} 、 R_{05} 和节域物元矩阵 R_p 分别为

$$\begin{aligned}
 R_{01} = & \begin{bmatrix} N_{01} & d_1 & \langle 0.285, 0.3 \rangle \\ & d_2 & \langle 150, 200 \rangle \\ & d_3 & \langle 25, 90 \rangle \\ & d_4 & \langle 12, 15 \rangle \\ & d_5 & \langle 500, 1000 \rangle \\ & d_6 & \langle 0, 0.04 \rangle \\ & d_7 & \langle 0.35, 0.5 \rangle \\ & d_8 & \langle 700, 1000 \rangle \\ & d_9 & \langle 500, 1200 \rangle \\ & d_{10} & \langle 15000, 20000 \rangle \\ & d_{11} & \langle 0, 1 \rangle \\ & d_{12} & \langle 0, 20 \rangle \\ & d_{13} & \langle 8000, 15000 \rangle \\ & d_{14} & \langle 0, 50 \rangle \\ & d_{15} & \langle 0, 1 \rangle \\ & d_{16} & \langle 0, 0.1 \rangle \\ & d_{17} & \langle 0, 0.1 \rangle \\ & d_{18} & \langle 0, 3000 \rangle \\ & d_{19} & \langle 0, 0.03 \rangle \end{bmatrix} \quad
 R_{02} = \begin{bmatrix} N_{02} & d_1 & \langle 0.275, 0.285 \rangle \\ & d_2 & \langle 130, 150 \rangle \\ & d_3 & \langle 15, 25 \rangle \\ & d_4 & \langle 9, 12 \rangle \\ & d_5 & \langle 350, 500 \rangle \\ & d_6 & \langle 0.04, 0.1 \rangle \\ & d_7 & \langle 0.25, 0.35 \rangle \\ & d_8 & \langle 400, 700 \rangle \\ & d_9 & \langle 250, 500 \rangle \\ & d_{10} & \langle 8000, 15000 \rangle \\ & d_{11} & \langle 1, 2 \rangle \\ & d_{12} & \langle 20, 30 \rangle \\ & d_{13} & \langle 5000, 8000 \rangle \\ & d_{14} & \langle 50, 65 \rangle \\ & d_{15} & \langle 1, 3 \rangle \\ & d_{16} & \langle 0.1, 0.15 \rangle \\ & d_{17} & \langle 0.1, 0.15 \rangle \\ & d_{18} & \langle 3000, 6000 \rangle \\ & d_{19} & \langle 0.03, 0.04 \rangle \end{bmatrix} \quad
 R_{03} = \begin{bmatrix} N_{03} & d_1 & \langle 0.265, 0.275 \rangle \\ & d_2 & \langle 100, 130 \rangle \\ & d_3 & \langle 8, 15 \rangle \\ & d_4 & \langle 6, 9 \rangle \\ & d_5 & \langle 200, 350 \rangle \\ & d_6 & \langle 0.1, 0.18 \rangle \\ & d_7 & \langle 0.18, 0.25 \rangle \\ & d_8 & \langle 200, 400 \rangle \\ & d_9 & \langle 100, 250 \rangle \\ & d_{10} & \langle 3000, 8000 \rangle \\ & d_{11} & \langle 2, 4 \rangle \\ & d_{12} & \langle 30, 45 \rangle \\ & d_{13} & \langle 2500, 5000 \rangle \\ & d_{14} & \langle 65, 75 \rangle \\ & d_{15} & \langle 3, 4 \rangle \\ & d_{16} & \langle 0.15, 0.25 \rangle \\ & d_{17} & \langle 0.15, 0.25 \rangle \\ & d_{18} & \langle 6000, 10000 \rangle \\ & d_{19} & \langle 0.04, 0.05 \rangle \end{bmatrix} \\
 R_{04} = & \begin{bmatrix} N_{04} & d_1 & \langle 0.25, 0.265 \rangle \\ & d_2 & \langle 60, 100 \rangle \\ & d_3 & \langle 5, 8 \rangle \\ & d_4 & \langle 3, 6 \rangle \\ & d_5 & \langle 100, 200 \rangle \\ & d_6 & \langle 0.18, 0.23 \rangle \\ & d_7 & \langle 0.1, 0.18 \rangle \\ & d_8 & \langle 100, 200 \rangle \\ & d_9 & \langle 50, 100 \rangle \\ & d_{10} & \langle 500, 3000 \rangle \\ & d_{11} & \langle 4, 6 \rangle \\ & d_{12} & \langle 45, 75 \rangle \\ & d_{13} & \langle 200, 2500 \rangle \\ & d_{14} & \langle 75, 80 \rangle \\ & d_{15} & \langle 4, 5 \rangle \\ & d_{16} & \langle 0.25, 0.5 \rangle \\ & d_{17} & \langle 0.25, 0.5 \rangle \\ & d_{18} & \langle 10000, 15000 \rangle \\ & d_{19} & \langle 0.05, 0.06 \rangle \end{bmatrix} \quad
 R_{05} = \begin{bmatrix} N_{05} & d_1 & \langle 0, 0.25 \rangle \\ & d_2 & \langle 25, 60 \rangle \\ & d_3 & \langle 0, 5 \rangle \\ & d_4 & \langle 0, 3 \rangle \\ & d_5 & \langle 0, 100 \rangle \\ & d_6 & \langle 0.23, 1 \rangle \\ & d_7 & \langle 0, 0.1 \rangle \\ & d_8 & \langle 0, 100 \rangle \\ & d_9 & \langle 0, 50 \rangle \\ & d_{10} & \langle 0, 500 \rangle \\ & d_{11} & \langle 6, 10 \rangle \\ & d_{12} & \langle 75, 100 \rangle \\ & d_{13} & \langle 0, 200 \rangle \\ & d_{14} & \langle 80, 100 \rangle \\ & d_{15} & \langle 5, 6 \rangle \\ & d_{16} & \langle 0.5, 1 \rangle \\ & d_{17} & \langle 0.5, 1 \rangle \\ & d_{18} & \langle 15000, 40000 \rangle \\ & d_{19} & \langle 0.06, 0.07 \rangle \end{bmatrix} \quad
 R_p = \begin{bmatrix} N_p & d_1 & \langle 0, 0.3 \rangle \\ & d_2 & \langle 25, 200 \rangle \\ & d_3 & \langle 0, 90 \rangle \\ & d_4 & \langle 0, 15 \rangle \\ & d_5 & \langle 0, 1000 \rangle \\ & d_6 & \langle 0, 1 \rangle \\ & d_7 & \langle 0, 0.5 \rangle \\ & d_8 & \langle 0, 1000 \rangle \\ & d_9 & \langle 0, 1200 \rangle \\ & d_{10} & \langle 0, 20000 \rangle \\ & d_{11} & \langle 0, 10 \rangle \\ & d_{12} & \langle 0, 100 \rangle \\ & d_{13} & \langle 0, 15000 \rangle \\ & d_{14} & \langle 0, 100 \rangle \\ & d_{15} & \langle 0, 6 \rangle \\ & d_{16} & \langle 0, 1 \rangle \\ & d_{17} & \langle 0, 1 \rangle \\ & d_{18} & \langle 0, 40000 \rangle \\ & d_{19} & \langle 0, 0.07 \rangle \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

根据公式 (5) ~ (11), 在 VB.NET 中编程实现各

个市县每个指标关于各安全等级的关联度及评价对象关于各安全等级的关联度 (表 3, 表 4)。

表 3 牡丹江市退耕还林前后各县市各指标生态安全关联度
Table 3 Relevancy of eco-security of each index between different counties

关联度	市区						东宁	林口	绥芬河	海林	宁安	穆棱	
	N_{01}	N_{02}	N_{03}	N_{04}	N_{05}	等级	等级	等级	等级	等级	等级	等级	
2000 年	$k_j(v_1)$	-0.265	0.157	-0.069	-0.331	-0.531	II	III	III	III	III	II	III
	$k_j(v_2)$	-0.629	-0.559	-0.383	0.283	-0.196	IV	V	IV	V	IV	IV	IV
	$k_j(v_3)$	-0.675	-0.458	0.018	-0.015	-0.277	III						
	$k_j(v_4)$	-0.663	-0.55	-0.325	0.35	-0.206	IV	IV	II	I	IV	IV	V
	$k_j(v_5)$	0.165	-0.165	-0.358	-0.478	-0.536	I	V	V	IV	V	V	V
	$k_j(v_6)$	0.472	-0.432	-0.789	-0.883	-0.908	I	IV	V	I	III	V	V
	$k_j(v_7)$	0.481	-0.519	-0.712	-0.775	-0.819	I	IV	I	IV	III	III	III
	$k_j(v_8)$	-0.821	-0.688	-0.375	0.25	-0.167	IV	IV	II	V	IV	II	III
	$k_j(v_9)$	-0.83	-0.66	-0.15	0.3	-0.292	IV	III	II	V	II	I	III
	$k_j(v_{10})$	-0.818	-0.659	-0.091	0.108	-0.449	IV	III	II	V	II	I	III
	$k_j(v_{11})$	-0.332	0.01	-0.05	-0.503	-0.668	II	IV	IV	III	IV	III	III
	$k_j(v_{12})$	-0.692	-0.648	-0.551	-0.383	0.383	V	V	V	V	V	V	V
	$k_j(v_{13})$	-0.426	-0.043	0.129	-0.233	-0.361	III	V	I	IV	I	IV	IV
	$k_j(v_{14})$	-0.556	-0.366	-0.113	0.436	-0.089	IV	II	III	III	II	V	III
	$k_j(v_{15})$	-0.548	-0.246	0.262	-0.104	-0.358	III	IV	III	IV	IV	III	IV
	$k_j(v_{16})$	0.5	-0.5	-0.714	-0.778	-0.833	I	I	II	I	IV	III	II
	$k_j(v_{17})$	-0.375	-0.231	-0.081	0.333	-0.167	IV	I	II	II	I	I	II
	$k_j(v_{18})$	-0.411	-0.281	0.04	-0.016	-0.344	III	III	II	V	II	II	III
	$k_j(v_{19})$	-0.609	-0.479	-0.218	0.437	-0.265	IV	IV	III	V	IV	V	IV
2008 年	$k_j(v_1)$	-0.265	0.157	-0.069	-0.331	-0.531	II	III	III	II	III	II	III
	$k_j(v_2)$	-0.654	-0.588	-0.424	0.206	-0.159	IV	V	II	IV	III	IV	IV
	$k_j(v_3)$	-0.675	-0.458	0.018	-0.015	-0.278	III						
	$k_j(v_4)$	-0.934	-0.912	-0.868	-0.737	0.263	V	V	IV	III	V	III	III
	$k_j(v_5)$	0.188	-0.188	-0.375	-0.492	-0.549	I	V	V	III	V	V	V
	$k_j(v_6)$	0.119	-0.119	-0.648	-0.804	-0.847	I	III	III	II	III	V	III
	$k_j(v_7)$	0.488	-0.512	-0.707	-0.771	-0.817	I	IV	I	IV	IV	III	III
	$k_j(v_8)$	-0.744	-0.553	-0.105	0.21	-0.306	IV	IV	II	V	III	I	IV
	$k_j(v_9)$	-0.722	-0.444	0.26	-0.219	-0.39	III	III	I	V	II	I	II
	$k_j(v_{10})$	-0.733	-0.499	0.201	-0.2	-0.467	III	III	II	V	II	I	III
	$k_j(v_{11})$	-0.344	-0.045	0.05	-0.475	-0.65	III	IV	IV	III	IV	III	IV
	$k_j(v_{12})$	-0.692	-0.648	-0.552	-0.384	0.384	V	V	V	V	V	V	V
	$k_j(v_{13})$	-0.364	0.089	-0.053	-0.27	-0.378	II	III	IV	III	IV	III	III
	$k_j(v_{14})$	-0.597	-0.424	-0.194	0.032	-0.08	IV	II	III	III	II	V	III
	$k_j(v_{15})$	-0.562	-0.271	0.189	-0.079	-0.352	III	IV	III	IV	IV	III	IV
	$k_j(v_{16})$	0.5	-0.5	-0.714	-0.778	-0.833	I	II	III	I	IV	III	V
	$k_j(v_{17})$	-0.513	-0.4	-0.291	-0.025	0.025	V	II	II	II	I	II	III
	$k_j(v_{18})$	-0.439	-0.361	-0.214	0.251	-0.084	IV	V	III	V	IV	IV	IV
	$k_j(v_{19})$	-0.628	-0.504	-0.256	0.489	-0.247	IV	IV	II	V	III	IV	III

注：I，II，III，IV，V 分别代表安全等级很不安全，不安全，临界安全，较安全，安全，下同

表 4 退耕还林前后各县市生态安全隶属度值及等级对比
Table 4 Eco-security membership and grade comparison of different counties before and after the Grain for Green project

综合关联度	市区		东宁		林口		绥芬河		海林		宁安		穆棱	
	值	等级	值	等级	值	等级	值	等级	值	等级	值	等级	值	等级
$K_j(N_{2000})$	-0.193	IV	-0.127	IV	-0.217	III	-0.211	V	-0.169	IV	-0.131	III	-0.015	III
$K_j(N_{2008})$	-0.252	III	-0.085	IV	-0.159	III	-0.16	III	-0.027	IV	-0.162	III	0.031	III

注：I，II，III，IV，V 分别代表安全等级很不安全，不安全，临界安全，较安全，安全，下同

由表 3 可以看出，退耕后随着耕地面积大量减少，人均耕地面积减少，人们加大了对现有耕地的开发强度，使得退耕后地膜、农药和化肥的安全性显著降低；退耕还林使区域土壤有机质含量增加，其安全性也提高，但

由于牡丹江原本就是黑龙江省森林覆盖率较高的地区，退耕还林前后，NDVI 的安全性没有明显变化；由于生态环境恶化，水土流失严重，退耕还林期间，政府加大了水土流失治理力度以及“三废”污染治理力度，且随着经济

发展,人均GDP的显著提高,退耕后,这3项指标的安全性显著提高;初中人口比例安全性小于退耕前,原因是人口出生率的降低使得初中学生在总人口中的比重下降。

由表4可以看出,退耕还林后,市区以及绥芬河安全性降低,分别由退耕前的较安全和安全降至临界安全等级,原因是,退耕还林后,随着耕地数量的减少以及社会经济的发展,大量农民涌入城市,加大对城市生态环境的扰动,致使其安全状况降低。退耕后,尽管宁安地区安全等级没有变,但生态安全隶属度值较退耕前却下降了,原因是宁安地区地势较为平坦,耕地面积比重大,农业生产条件较高,退耕还林后,农民加大了对耕地的开发利用强度,地膜、农药、化肥的大量使用以及水土流失风险加强,使得其安全性降低。东宁、林口、海林和穆稜地区安全等级没有变化,但生态安全隶属度值却均称增加态势,特别是穆稜,隶属度值由退耕前的-0.015增加至0.031,是各市县中唯一出现正值的区域;究其原因,这4个区域地势较高,坡度大,林地面积比重大,且穆稜地区是牡丹江市乃至黑龙江省退耕还林示范县,生态环境较好。

4 结 论

区域生态安全评价是一种非线性的复杂系统,物元模型把现实问题概括为相容性和不相容性并进行转化处理,其关联函数从 $[0, 1]$ 闭区间拓展到 $(-\infty, +\infty)$ 整个实数轴,极大地拓展了它的研究范围,能揭示更多的分异信息,进而提高了生态安全评价精度,研究结果符合研究区实际情况:1)退耕后,市区及绥芬河市生态安全等级下降,原因是耕地的大量减少使大量农民涌入城市,增强对城市生态安全的扰动;2)其他地区生态安全等级没有变化,但宁安地区生态安全隶属度值下降,原因是该地区地势相对平坦,农业生产条件较高,耕地面积比重大,退耕后,农民加大了对耕地的开发利用强度;东宁、林口、海林、穆稜生态安全隶属度值增加,特别是穆稜地区,作为牡丹江市及黑龙江省退耕还林示范县,其值唯一出现正值情况,原因是这些地区地势较高,坡度较大,林地面积比重大,生态环境质量较高。

【参 考 文 献】

- [1] Mark Halle. State-of-the-Art review of environment, security and development cooperation[C]//Paris: Working paper of conducted on behalf of the OECD DAC Working Party on Development and Environment. 2000: 43.
- [2] Kenneth H. Keller. Unpacking the Environment. Environment Change and Security Project (ECSP) Report3/Report3a.pdf. [EB/OL]http://wwies.edu/index.cfm?Topic_id=413&fuseaction=topics_publications&group_id=6260.
- [3] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良, 等. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354—358.
Xiao Duning, Chen Wenbo, Guo Fuliang, et al., On the basic concepts and contents of ecological security[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(3): 354—358. (in Chinese with English abstract)
- [4] 王根绪, 程国栋, 钱鞠. 生态安全评价研究中的若干问题[J]. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1551—1556.
Wang Genxu, Chegn Guodong, Qian Ju. Several problems in ecological security assessment research[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(9): 1551—1556. (in Chinese with English abstract)
- [5] 左伟, 周慧珍, 王桥. 区域生态安全评价指标体系选取的概念框架研究[J]. 土壤, 2003(1): 2—7.
Zuo Wei, Zhou Huizhen, Wang Qiao. Conceptual framework of selection of an indicator system for assessment of regional ecological safety[J]. Soil, 2003(1): 2—7. (in Chinese with English abstract)
- [6] 邹长新, 沈渭寿. 生态安全研究进展[J]. 农村生态环境, 2003, 19(1): 56—59.
Zou Changxin, Shen Weishou. Advances in ecological security[J]. Rural Eco-Environment, 2003, 19(1): 56—59. (in Chinese with English abstract)
- [7] 刘世梁, 郭旭东, 连纲, 等. 黄土高原典型脆弱区生态安全多尺度评价[J]. 应用生态学报, 2007, 18(7): 1554—1559.
Liu Shiliang, Guo Xudong, Lian Gang, et al. Multi-scale ecological security evaluation of typical fragile areas in Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(7): 1554—1559. (in Chinese with English abstract)
- [8] 陈浩, 周金星, 陆中臣, 等. 荒漠化地区生态安全评价——以首都圈怀柔来县为例[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 58—62.
Chen Hao, Zhou Jinxing, Lu Zhongchen, et al. Evaluation of ecological security in desertification region in desertification region in huailai county[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(1): 58—62. (in Chinese with English abstract)
- [9] 彭立, 苏春江, 徐云, 等. 模糊模式识别模型在流域生态安全评价中的应用[J]. 四川林业科技, 2007, 28(5): 1—5.
Peng Li, Su Chunjiang, Xu Yun, et al. Application of a fuzzy pattern recognition model in the basin eco-security assessment[J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2007, 28(5): 1—5. (in Chinese with English abstract)
- [10] 邱微, 赵庆良, 李崧, 等. 基于“压力-状态-响应”模型的黑龙江省生态安全评价研究[J]. 环境科学, 2008, 29(4): 1148—1152.
Qiu Wei, Zhao Qingliang, Li Song, et al. Ecological security evaluation of heilongjiang province with pressure-state-response model[J]. Environmental Science, 2008, 29(4): 1148—1152. (in Chinese with English abstract)
- [11] 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.
Qu Qinglin, Cao Aixia, Liu Xuelu. Appraisal of land use eco-security in lanzhou city[J]. Research of Environmental

- Sciences, 2009, 22(6): 753—756. (in Chinese with English abstract)
- [12] 林年丰, 汤洁, 王娟, 等. 松嫩平原西南部的生态安全研究[J]. 干旱区研究, 2007, 24(6): 867—874.
Lin Nianfeng, Tang Jie, Wang Juan, et al. Study on ecological security in the southwest songnen plain[J]. Arid Zone Research, 2007, 24(6): 867—874. (in Chinese with English abstract)
- [13] 罗文斌, 吴次芳, 汪友结, 等. 基于物元分析的城市土地生态水平评价——以浙江省杭州市为例[J]. 中国土地科学, 2008, 22(12): 31—38.
Luo Wenbin, Wu Cifang, Wang Youjie, et al. Evaluation on urban land ecological level based on matter element analysis: a case of hangzhou city in zhejiang province[J]. China Land Science, 2008, 22(12): 31—38. (in Chinese with English abstract)
- [14] 戚伯华. 调整土地利用结构, 构建“大牡丹江”生态框架[J]. 国土与自然资源, 2009(3): 40—41.
Qi Bohua. Readjust the structure of landuse, construct ecological “Big Mudanjiang”[J]. Territory and Natrual Resources Study, 2009(3): 40—41. (in Chinese with English abstract)
- [15] 解培君, 李立新, 陈英智. 牡丹江市水土保持生态环境建设问题浅析[J]. 水土保持情报, 2001(3): 29—31.
Jie Peijun, Li Lixin, Chen Yingzhi. Analysis on the eco-environmental effects of soil and water conservation in mudanjiang city[J]. Scientific and Technical Information of Soil and Water Conservation, 2001(3): 29—31. (in Chinese with English abstract)
- [16] 高凤杰, 张柏, 王宗明等. 退耕还林工程对区域生态系统服务价值的影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 2011, 27(2): 233—239.
Gao Fengjie, Zhang Bai, Wang Zongming, et al. Effects of Grain for Green on Regional Ecosystem Service Values Changes in Mudanjiang City[J]. 2011, 27(2): 233—239. (in Chinese with English abstract)
- [17] 崔胜辉, 洪华生, 黄云凤, 等. 生态安全研究进展[J]. 生态学报, 2005, 25(4): 861—868.
Cui Shenghui, Hong Huasheng, Huang Yunfeng, et al. Progress of the ecological security research[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(4): 861—868. (in Chinese with English abstract)
- [18] 高凤杰, 张柏, 王宗明, 等. 牡丹江市退耕还林前后自然状态下土壤侵蚀敏感性变化研究[J]. 水土保持通报, 2010, 30(5): 1—6.
Gao Fengjie, Zhang Bai, Wang Zongming, et al. Changes of soil erosion sensitivity by returning farmland to forest project in mudanjiang city[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(5): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [19] 郭建国. 景观生态学——格局过程尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [20] 王晓峰. 基GIS和RS榆林地区生态安全动态综合评价[D]. 陕西师范大学博士论文, 2007.
Wang Xiaofeng. Study on the Spatial-temporal Changes of Eco-security Assessment Based on GIS and RS[D]. PhD Thesis of Shanxi Normal University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [21] 康相武, 刘雪华, 张爽, 等. 北京西南地区区域生态安全评价[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2846—2852.
Kang Xiangwu, Liu Xuehua, Zhang Shuang, et al. Regional eco-security assessment of southwest Beijing[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(12): 2846—2852. (in Chinese with English abstract)
- [22] 钟振宇, 柴立元, 刘益贵, 等. 基于层次分析法的洞庭湖生态安全评估[J]. 中国环境科学, 2010, 30(Suppl.): 41—45.
Zhong Zhenyu, Chai Liyuan, Liu Yigui, et al. Ecological security evaluation based on AHP of Lake Dongting[J]. China Environmental Science, 2010, 30(Suppl.): 41—45. (in Chinese with English abstract)
- [23] 王筱明. 基于熵权法的济南市土地利用效益评价研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(2): 96—98.
Wang Xiaoming. Study of urban land use benefits assessment for Ji'nan based on entropy-right method[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(2): 96—98. (in Chinese with English abstract)
- [24] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
- [25] 席北斗, 于会彬, 郭旭晶, 等. 基于模糊权物元理论的地下水水质评价模型构建及应用[J]. 环境工程学报, 2009, 3(2): 81—84.
Xi Beidou, Yu Huibin, Guo Xujing, et al. Establishment and application of evaluating groundwater quality model based on fuzzy weight matter-element analysis[J]. Chinese Journal of Enviromental Engineering, 2009, 3(2): 81—84. (in Chinese with English abstract)
- [26] 吴冠岑, 刘友兆, 付光辉. 基于熵权可拓物元模型的土地整理项目社会效益评价[J]. 中国土地科学, 2008, 22(5): 40—45.
Wu Guocen, Liu Youzhao, Fu Zhaohui. Social benefit evaluation of land reconsolidation projects based on entropy-weighted extentic matter-element model[J]. China Land Science, 2008, 22(5): 40—45. (in Chinese with English abstract)

Eco-security evaluation before and after Grain for Green in project Mudangjiang city

Gao Fengjie, Lei Guoping^{*}, Yang Fenghai, Song Ge, Du Guoming

(School of Resource and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin, 150030, China)

Abstract: The Grain for Green is the most granted ecological restoration and reconstruction project in China. It has an important significance for eco-security assessment before and after the Grain for Green project to consolidate eco-environment achievement and to provide a basis for making regional environmental planning and sustainable development strategy. An eco-security evaluation index system about Grain for Green area was constructed using the press-station-response model, and the eco-security level before and after the Grain for Green project in Mudangjiang city was contrasted by the matter-element model. The results showed that: 1) The eco-security level in the urban and Suifenhe city declined, changed respectively from general security and security both to critical security. Well, the eco-security level in other counties had no change. 2) The correlation value varied obviously. The correlation value in Ning'an county dropt down, on the contrary, the correlation value in Dongning, Linkou, Hailin and Muling showed increasing trends and the eco-environment was improved significantly. In a word, the differentiation between indexes could be well revealed by the matter-element model. The results fit well to the real situation of the study area.

Key words: models, ecology, environmental protection, matter element model, Grain for Green, Mudangjiang city