

· 技术方法 ·

农地整治资源环境效应预警因子与模型^{*}

张正峰¹, 刘 静², 郭战胜³

(1. 中国人民大学公共管理学院土地管理系, 北京 100872;

2. 上海市建设用地和土地整理事务中心, 上海 200003;

3. 山东菏泽市国土资源局, 菏泽 274000)

摘 要 针对农地整治资源环境效应预警模型与方法缺乏的现状, 开展农地整治预警因子及预警方法研究, 能够根据预先评估的警情调整农地整治规划的设计方案, 从而指导农地整治项目科学的开展, 避免农地整治对区域生态、环境、景观等带来不良影响。该文在界定农地整治资源环境效应内涵的基础上, 分析了农地整治资源环境效应预警的过程, 构建了效应预警的因子, 并确定预警的模型方法, 最后选定案例区进行实证研究, 根据预警结果提出了相应的排警措施。

关键词 农地整治 资源环境效应 预警因子 整治区域

农地整治在增加耕地面积, 改善农业生产条件等方面发挥着重要作用, 是我国实现耕地占补平衡与提高农地生产能力的重要途径^[1-2]。农地整治中的工程措施必然会对整治区域中的土壤、水资源、植被、生物等产生影响^[3], 而农地整治所导致的土地利用方式与强度、农业基础设施密度与布局等方面的变化也必然对区域的资源环境产生影响。目前, 国内外学者对农地整治的生态环境影响开展了部分研究^[3-8], 但专门针对资源环境效应开展预警研究的极少。该研究针对农地整治资源环境效应预警模型与方法缺乏的现状, 开展农地整治预警因子及预警方法的研究, 能够根据预先评估的警情调整农地整治规划的设计方案, 从而指导农地整治项目科学的开展, 避免农地整治对区域生态、环境、景观等带来不良影响。该文在界定农地整治资源环境效应内涵的基础上, 分析了农地整治资源环境效应预警的过程, 构建了效应预警的因子, 并确定预警的模型方法, 最后选定案例区进行实证研究, 根据预警结果提出了相应的排警措施。

1 农地整治资源环境效应分析

将农地整治的资源环境效益分为资源效应、环境效应与景观效应。资源效应方面, 农地整治从耕地数量、土壤质量以及农业生产条件三个方面对其产生影响。耕地数量的改变主要基于以下三个方面的原因: (1) 田坎以及边角地的变化。田坎的减少, 边角地的消失, 都能有效增加耕地面积。(2) 道路、沟渠的重新布设。农地整治中对沟、渠、路进行重新布设, 可以增加耕地面积; 但整治过程中, 路网、农田水利设施的完善、防护林的建设也会占用一定面积的耕地, 引起耕地面积的减少。(3) 零星未利用地的开发。如坑塘的填埋, 荒草地的开垦等。土壤质量的变化主要是由于农地整治工程的影响以及由于限制因素的解除所带来的农业生产潜力的改变。农业生产条件的改变, 包括田块的平整、路网的优化尤其是农田水利设施的完善。

农地整治对环境效应的影响, 主要表现在三个方面。首先是对生态结构的影响。生态结构是指生态系统的构成要素及其时、空分布和物质、能量循环转移的途径。不同的土地利用类型即形成了不同的种群, 农地整治的过程改变着土地利用的结构, 也就必然会对生态系统的构成要素以及物质、能量的循环转移形

成较大的影响。其次是对生态稳定性的影响。农地整治的过程，土地平整工程的开展会对土壤的理化性质产生影响，使得有机质含量减少、土壤微生物数量下降；道路工程以及农田水利工程中水泥的大量使用会影响物种的扩散，横平竖直的线性工程的设计也会使得生物栖息地环境退化，从而影响到区域生态的稳定性。第三是对生态服务功能的影响。农地整治过程中土地利用结构的变化必然导致土地利用覆被、区域生态系统结构和功能的变化。农地整治的过程使得土地利用结构发生变化进而影响到生态系统的结构和功能，从而使得生态系统的服务价值也就发生了相应的或增加或减少的变化。

景观是由不同的生态系统组成的镶嵌体，可将景观的基本单元分为斑块、廊道、基质三种类型。土地平整工程改变着斑块的大小和形状；农田水利工程、道路工程以及农田防护林工程改变着廊道的连通度以及环通度。作为具有美感效果的景观，其效应可以从景观的异质性、有序性、自然性及运动性4个方面来衡量。农地整治后，土地利用结构会发生一定程度的变化，一般情况下，耕地数量会增加，未利用地数量会减少，林地、草地等景观类型的数量也会发生变化，景观的异质性会发生变化。景观的异质性越高，景观生态系统破坏的程度或者说被破坏的几率就越小，也即其景观功能越强；反之，则越弱。景观有序性是对景观要素自身的组合关系以及人类对其认知的一种表达。适度的有序性可使得景观更加生动，增加景观的形态美。农地整治过程追求“田成方、树成行”的有序性，工程项目的开展会使得田块镶嵌体平均形状趋向于一致和规则。景观的自然性主要是基于人们对于自然性因素，如水域、草地的偏好，以及对人为扰动的厌恶。农地整治的过程也是一个改变土地利用结构的过程，各种景观类型在数量上、空间上都会发生一定的变化。农地整治过程中，开发未利用地、填埋坑塘使得未利用地面积减少、耕地面积增加；铺筑硬化路面，修建硬化沟渠、将原有河道裁弯取直等行为在很大程度上影响着景观的连通性以及斑块间物种和能量的交流，自然性会大大降低。景观的运动性是指景观自身的可达性以及生物在其中可自由移动的程度。农地整治的过程追求“渠相通、路相连”的较高的连通度。农地整治过程中沟渠路的建设过程中建筑材料的选用不当可能会对生物的自由移动造成不利影响，但是对于适宜的沟渠路网的规划，提高其连通程度又可促进生物的自由移动，促进物质和能量在不同区域间的流动。

2 农地整治资源环境效应预警过程与预警因子选择

2.1 农地整治资源环境效应预警过程

农地整治资源环境效应预警的过程是一个明确警义、寻找警源、分析警兆、划分警度、判断警情并最终输出预警信号的过程。农地整治过程对资源环境效应的影响主要可以归结于两方面：一是农地整治工程，包括土地平整工程、农田水利工程、田间道路工程、农田防护林工程等，二是农地整治前后土地利用结构和布局的变化。这两方面作用于土地系统，形成了新的土地利用系统，这也就构成了农地整治的整个系统。农地整治的资源环境效益预警具体过程见图1。

2.2 农地整治资源环境效应预警因子

遵循目的性、系统性、完整性、相对独立性、准确一致性、科学性和可操作性兼顾的原则，在农地整治资源环境效应理论分析基础上，进行专家咨询，划分预警因子层次，并确定预警因子。具体见表1。

3 农地整治资源环境效应的预警模型

3.1 预警因子的量化以及标准化

农地整治对资源环境效应的影响，既有正效应，也有负效应。据此可将因子分为两类：一类为正向因子，即因子值越大，产生的正向影响越大，这类因子包括了有效耕地面积比率、有效土层厚度、土壤有机质含量、灌溉保证率、排涝排渍率、可机械化耕作面积比率、灌排沟渠连通度、田间道路连通度、水域面积比率、绿色植被覆盖率、生物多样性状况、自然灾害抵御度、生态系统服务价值、景观多样性指数、自然景观分离度指数、景观相对均匀度、景观类型相对丰富度、通达度；另外一类为负向因子，即因子值越小，产生的正向影响越大，这类因子包括了土地盐碱化率、土地侵蚀率、田块集中度、土地沙漠化率、土

地污染率、人为干扰指数、人工廊道密度。

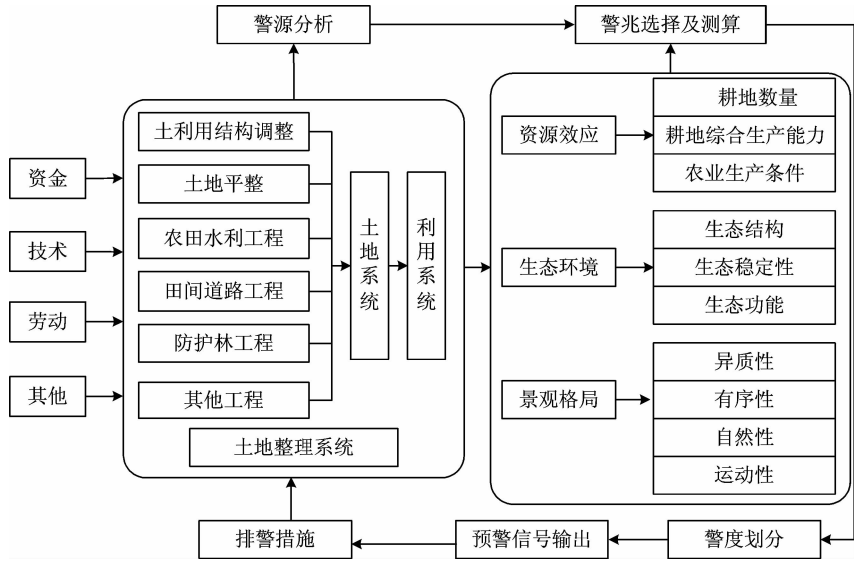


图1 农地整治资源环境效应预警过程

对于定量因子的量化，先确定单因子取值的上限、下限以及警限，在不同的因子值区间内进行内插得到各个因子的综合得分，采用取自然对数再线性内插的方法保证归一化之后的分值分布均匀。对应于因子值的取值区间 $[a, b]$ ， $[b, c]$ 得分区间为 $[S_1, S_2]$ ， $[S_2, S_3]$ 采用内插法进行因子的归一化处理，记 S 为实际因子值的得分，当为正向因子时， S_{1d} 为 S_2 与 S_1 之间的差值， S_{2d} 为 S_2 与 S_3 之间的差值；当为负向因子时， S_{1d} 为 S_2 与 S_3 之间的差值， S_{2d} 为 S_2 与 S_1 之间的差值。

对于正向因子，其得分计算方式如下：

$$S = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ S_{1d} \times \frac{\ln x - \ln a}{\ln b - \ln a}, & a < x \leq b \\ S_{1d} + S_{2d} \times \frac{\ln x - \ln b}{\ln c - \ln b}, & b < x < c \\ 100, & x \geq c \end{cases}$$

式中： S —实际因子值的得分； a —警限的下限，即最差状态值； b —有警无警的分界线； c —因子的目标值或者最大可达到的值； S_{1d} —警限 a, b 对应的分值区间差； S_{2d} —警限 b, c 对应的分值区间差。

对于负向因子，其计算公式如下：

$$S = \begin{cases} 0, & x \geq a \\ S_{2d} \times \frac{\ln x - \ln c}{\ln b - \ln c}, & b < x \leq c \\ S_{2d} + S_{1d} \times \frac{\ln x - \ln b}{\ln a - \ln b}, & a < x \leq b \\ 100, & x \leq a \end{cases}$$

式中： a —警限的上限，也即最好状态值； c —警限的下限，也即最差状态值；其他符合含义同上。

对于定性评价因子的量化，如物种多样性状况，土地污染程度等按实地调查的方法来确定。将每一项因子分为 5 个等级，如将物种多样性状况分为非常丰富、丰富、一般丰富、稀少、非常稀少 5 个等级，分别对应不同的预警状态。每个等级等距从 0 到 100 等距赋分，取实地调查结果的平均值作为最后得分。

表 1 农地整治资源环境效应预警因子体系表

准则层	次准则层	因子层	因子计算
资源效应	有效耕地面积	有效耕地面积比率（%）	有效耕地面积/土地总面积×100%
		有效土层厚度（cm）	实际数值
	耕地自然生产潜力	土壤有机质含量（mg/kg）	实地取样、实验测定
		有效灌溉面积比率（%）	水浇地面积/农用地总面积×100%
		土地盐碱化率（%）	土地盐碱化面积/土地总面积×100%
		土地侵蚀率（%）	土地侵蚀的面积/土地总面积×100%
		排涝排渍率（%）	成功排涝排渍面积/区域总面积×100%
	农业生产条件	田块集中度（块/户）	整治区域田块的个数/实际进行经营的农户数
		可机械化耕作面积比率（%）	可机械化耕作的面积/整治区域中耕地总面积×100%
		灌排沟渠密度（km/km ² ）	区域灌排沟渠长度/区域耕地总面积
田间道路密度（km/km ² ）		区域田间道路长度/区域耕地总面积	
水域面积比率（%）		整治区域内的水域面积/农地整治区域总面积×100%	
环境效应	生态结构	绿色植被覆盖率（%）	（耕地面积+园地面积+林地面积+草地面积）/区域总面积×100%
		生物多样性指数	$D = \frac{S-1}{\ln N}$ ，D 为 Margalef 指数，S 为群落中的总种数，N 为观察到的个体总数
	生态稳定性	自然灾害抵御度	1－成灾面积/受灾面积
		土地沙漠化率（%）	农地整治区域内沙化面积/农地整治区域总面积×100%
		土地污染率（%）	区域中受污染的土地面积/区域土地总面积×100%
		水域污染率（%）	区域中受污染的水体面积/区域水体总面积×100%
	生态服务功能	生态系统服务价值（元/年）	$ESV = (A_K \times VC_K)$ ，ESV 为生态系统服务价值，元/年； A_K 为整治区域中第 k 种土地利用类型的面积，hm ² ； VC_K 为生态价值系数，元/（hm ² ·年） ^[9-10] 。
		景观的多样性指数	$H = - \sum_{i=1}^n [p_i \times \ln (p_i)]$ ，H 为 Shannon－weaver 多样性指数， p_i 为景观类型 i 所占区域总面积的比率，n 为景观类型的总数。
	异质性	景观优势度指数	$H = H_{\max} + [\sum_{i=1}^n (p_i) \times \log_2 (p_i)]$ ，D 为景观优势度指数， $H_{\max} = \log_2 n$ 表示景观最大多样性指数； p_i 为 i 斑块类型在景观中所占比例，n 为景观类型总数。
		自然景观分离度指数	$E = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \times \frac{\sqrt{n/A}}{S_i} \times p_i$ ，E 为自然景观分离度指数；n 为自然景观类型 i 中的斑块总个数；A 为自然景观类型 i 的总面积； S_i 是自然景观类型 i 的面积指数；为景观类型 P_i 的面积占农地整治区域总面积的比例。
景观类型破碎度		$C = \sum n_i/A$ ，C 为景观破碎度， n_i 为第 i 个斑块类型的个数；A 为景观的总面积。	
景观效应	有序性	田块形状指数	$D = \frac{2\log (p/4)}{\log (A)}$ ，D 为田块形状指数，p 为田块的周长；A 为田块的面积。
		相对均匀度	$E = \frac{H}{H_{\max}}$ ， $H = -\log_2, [\sum_{i=1}^n (p_i)^2]$ E 为相对均匀度，H 为景观多样性指数， P_i 为景观类型 i 所占区域总面积的比率，n 为景观类型的总数， $H_{\max} = \log_2 n$ 表示景观的最大多样性指数表示景观的最大多样性指数。
	自然性	人为干扰指数	$HD = 100 \sum_{i=1}^n (A_i \times C_i)$ ，HD 为人为干扰指数， $HD \in [100, 400]$ ； A_i 表示第 i 级干扰程度的分级指数， C_i 为第 i 级景观类型用地面积百分比 ^[12] 。
		廊道密度（km/km ² ）	$D = \sum_{i=1}^n l_i/A$ ，D 为廊道密度， l_i 为第 i 条廊道的长度，A 为农地整治区域总面积
	运动性	景观类型相对丰富度（%）	$R = (M/M_{\max}) \times 100\%$ ，R 为景观类型相对丰富度；M 为景观中现有的景观类型数； $M_{\max}$ 为最大可能的景观类型数。
		通达度（%）	通达度 = （河流面积+沟渠面积+道路面积）/区域总面积×100%

3.2 预警模型的建立

3.2.1 效应的表达

农地整治资源环境效应的表达有两种方式：第一种用农地整治后因子的状态表示；第二种用农地整治的演化方向及演化强度表示。

$$I = I_f \tag{1}$$

$$I = \Delta I = I_f - I_b = \sum_{i=1}^n (W_i \times F_{if}) - \sum_{i=1}^n (W_i \times F_{ib}) \tag{2}$$

式中： I —效应的分值； I_f 、 I_b —效应整治后、前的得分值； n —因子的个数；

W_i —第 i 个因子的权重值； F_{if} 、 F_{ib} —第 i 个因子整治后、前的分值。

3.2.2 警限的确定以及警度的划分

警限是确定警情严重程度的等级分界线。该文警限的确定采用以下方法：（1）绝对确定法。依据国家指定和颁布的相关标准以及土地行业的相关标准进行确定。（2）相对确定法。根据地方总体区域水平确定上下限。即可根据区域所辖面积内统计数据概率来确定，一般情况下，数据落在平均值±3 个标准差之外的区间的概率很小，是可以视为小概率事件的，所以也可以用平均值作为有警无警的分界线，用平均值±3 个标准差作为因子取值的上限和下限；（3）专家确定法。对于一些没有标准可以参照的问题，可以通过德尔菲法集中农地整治领域专家的集体智慧来确定。（4）根据理论最佳值来确定。

警度是指农地整治系统发展的过程中各要素偏离正常状态的程度。整治后状态的警度根据专家咨询的结果取 60 分为有警无警的分界线；对于演化方向与演化强度的预警，若整治前后因子的差值为负值即进入警戒状态，具体警度区间的划分主要根据专家咨询结果及当地实际情况而定。综合警情的确定，采用极限条件法综合整治后状态与演化方向和强度，两警相权取其重。警情判断对照见表 2。准则层、次准则层以及因子层的警度区间的端点由各自的权重与不同警度区间的端点相乘得到。

表 2 农地整治资源环境效应警情判断对照表

I_f		[0, 15]	(15, 30]	(30, 45]	(45, 60]	(60, 100]
ΔI		巨警	重警	中警	轻警	无警
[-100, -30]	巨警	巨警	巨警	巨警	巨警	巨警
(-30, -20]	重警	巨警	重警	重警	重警	重警
(-20, -10]	中警	巨警	重警	中警	中警	中警
(-10, 0]	轻警	巨警	重警	中警	轻警	轻警
(0, 100]	无警	巨警	重警	中警	轻警	无警

4 案例研究

4.1 案例区概况

选择山东省东明县土地涝洼地整治项目区作为实证研究的区域，项目区地处黄河冲积平原，是历次黄河南北改道的三角地带，土地总面积 1 782. 86hm²。全区西南高，东北低，地面比降 1/3000 ~ 1/5000，总的来说地势平坦，但局部地区仍有较大的起伏。因背临引黄干渠受河水侧渗的缘故，形成大面积土地地势高低不平，加之农田水利配套设施不足，每逢汛期、雨季大面积积水，形成河滩高地、决口扇形地、缓平坡地、浅平洼地、背河槽状洼地和黄河滩涂等复杂的微地貌类型。

4.2 预警因子体系的选择

根据前文构建的普适性农地整治资源环境效应预警因子体系，结合案例区的实际情况，从资源效应方面选择有效耕地面积比率、有效灌溉面积比率、土地盐碱化率、农田林网面积比率、排涝排渍率、田块集中度、可机械化耕作面积比率、灌排沟渠密度、田间道路密度 9 项因子；从环境效应方面选择水域面积比率、绿色植被覆盖率、生物多样性状况、自然灾害抵御度、土地污染率、单位面积生态系统服务价值 6 项因子；从景观效应方面选择景观的多样性指数、景观优势度指数、景观类型破碎度、田块形状指数、相对均匀度、人为干扰指数、人工廊道密度、景观类型相对丰富度和通达度 9 项因子。

4.3 农地整治资源环境效应预警结果

农地整治对资源环境效应单项因子的影响大多是正向的，其中代表资源效应的因子均为无警状态。表征环境效应的因子中绿色植被覆盖率、自然灾害抵御度、土地污染情况、单位面积生态系统服务价值属于

无警；生物多样性状况属于中警；水域面积覆盖比率属于巨警。表征景观效应的因子中除景观优势度指数、景观类型破碎度、田块形状指数三项因子没有出现警情外，其他因子均出现了不同程度的警情。

从农地整治资源环境总效应来看，从整治的状态和整治的演化方向强度来说，均属于无警状况，说明该项目对资源环境总的影响是良性的，具体见表3。从单项效应来看，资源效应与环境效应的综合警情均为无警，而景观效应分值由整治前的15.68降到了整治后的12.92，其整治后的状态属于轻警，演化方向属于中警，综合警情为中警。另外用于衡量环境效应的生态结构综合预警结果为轻警，用于衡量景观效应的异质性与自然性的综合预警结果为中警，运动性的综合预警结果为重警。

表3 案例区农地整治资源环境效应预警结果

准则	次准则	分值			警度区间		
		整治前	整治后	差值	整治后状态	演化方向与强度	综合预警
资源效应	有效耕地面积	10.41	12.52	2.11	无警	无警	无警
	耕地自然生产潜力	6.72	15.08	8.36	无警	无警	无警
	农业生产条件	5.09	10.23	5.14	无警	无警	无警
		22.21	37.83	15.61	无警	无警	无警
环境效应	生态结构	5.22	4.99	-0.23	轻警	轻警	轻警
	生态稳定性	1.76	9.16	7.40	无警	无警	无警
	生态服务功能	5.53	6.23	0.70	无警	无警	无警
		12.51	20.38	7.87	无警	无警	无警
景观效应	异质性	5.63	3.90	-1.73	中警	中警	中警
	有序性	4.73	5.60	0.86	无警	无警	无警
	自然性	3.74	2.83	-0.91	轻警	中警	中警
	运动性	1.58	0.60	-0.98	重警	轻警	重警
总效应		15.68	12.92	-2.76	轻警	中警	中警
		50.40	71.12	20.72	无警	无警	无警

4.4 排警措施的制定

针对出现的警情，从生态保育和景观塑造两个角度出发，提出相应的排警措施，据此对规划设计方案进行优化和完善。

4.4.1 设计生态缓冲区域

可在农田边缘设计生态缓冲区域，生态缓冲区域不仅包括原有已经配置的防护林、道路和沟渠，其还应该形成一个空间上多层次的防护体系，形成一个“作物边界+多层次防护林+草皮+道路沟渠”的缓冲边界，其为物种提供了缓冲生境同时也提供了较为安全的迁徙通道。对于原有河流、池塘，可在其周围保留和规整出2~3 m的洼地作为农田边界，保护自然界天然的湿地环境，一方面保留景观的自然性，另一方面对生物多样性保护也起着十分重要的作用。

4.4.2 建造生态化道路、河流沟渠

道路、沟渠建造材料的选择应考虑对生态环境以及景观自然性的保护，如道路尽量采用素土夯实或者采用泥结碎石，渠系尽量采用石砌渠底灯等。整治过程应尽量保证河流、坑塘水面面积不减少，对河流沟渠的设计应尽可能保留河道原有弯曲以及自然风貌，一方面保证农田的蓄水能力，另一方面为野生动植物如茅草、苇草等留下一些合适的栖息地和生存、繁衍空间，促进生态的永续发展。

4.4.3 注重农田景观的塑造

从生物多样性角度来讲，必须注重原有景观要素的保留和重塑，如可以保留部分的沼泽地，灌木丛等片状生物群落，针对东明县涝洼地农地整治项目区域来说，可以保留部分茅草、芦苇等具有极强景观功能的植被类型，以小风景点缀田块，可以避免景色的单调、呆板，增强景色的美感度。

参考文献

[1] 陈印军,肖碧林,陈京香.我国耕地“占补平衡”与土地开发整理效果分析与建议.中国农业资源与区划,2010,31(1):1~6

[2] 罗明,王军.中国土地整理的区域差异及对策.地理科学进展,2001,20(2):97~103

- [3] 罗明, 张惠远. 土地整理及其生态环境影响综述. 资源科学, 2002, 24 (2): 61~64
- [4] 李岩, 欧名豪, 赵庚星. 土地整理的区域生态环境影响评价研究. 生态环境学报, 2010, (2): 398~403
- [5] 张正峰, 赵伟. 土地整理的生态环境效应分析. 农业工程学报, 2007, 23 (8): 281~285
- [6] 吴次芳, 黄鸿鸿, 叶艳妹. 农地整理工程对农田生态的影响及其生态环境保育型模式设计. 农业工程学报, 2001, 17 (5): 167~171
- [7] 赵俊锐. 土地开发整治生态效益后评价的能值分析研究—以山东省淄博市窑峪流域与花林流域农地整治项目为例. 山东理工大学学报 (自然科学版), 2010, 24 (2): 24~30
- [8] 李哲敏, 高春雨, 张劲松. 退耕还林工程生态效益评价方法初探. 中国农业资源与区划, 2006, 27 (6): 55~59
- [9] Costanza R, Arge R, Groot R. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997: 253~387
- [10] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18 (2): 17~24

EARLY WARNING FACTOR AND MODEL OF ENVIRONMENT EFFECT ON FARMLAND REGULATION

Zhang ZhengFeng¹, Liu Jin², Guo Zhansheng³

- (1. Faculty of land management, college of public management, the people's university of China, Beijing 100872;
- 2. Shanghai construction land use and land consolidation affairs center, Shanghai 200003;
- 3. Bureau of national land and resources of Heze, Shandong, Heze 274000)

Abstract Based on the present situation of the lack of methods and model for the environmental effects of farmland resources regulation, carrying out the study of farmland early warning model and factor can in advance adjust early warning of farmland regulation plan design, so as to guide the development of farmland regulation, and avoid the negative effects of farmland on regional ecology and environment. This paper defined the environmental effects of farmland resources connotation, and analyzed the early warning process of the environment effect on farmland regulation, constructed the early warning effect factors, and determined the early warning model method, and finally selected case area for empirical research, put forward the corresponding countermeasures for the early warning.

Keywords farmland regulation; environment effect; warning factor; regulation area