

# 渭北旱塬两种类型农林复合经营 生态系统环境效应评价

王丽梅<sup>1,2</sup>, 邵明安<sup>2,3</sup>, 郑纪勇<sup>2</sup>, 王忠林<sup>1</sup>, 李秧秧<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 为研究农林复合经营生态系统的营造及其人为管理对当地环境产生的影响, 在实地监测和调查分析的基础上, 运用多级模糊综合评判-灰色关联优势分析复合模型, 对渭北旱塬 2 种主要类型农林复合经营生态系统(以苹果-农作物间作为主的  $T_1$  型和以花椒-农作物间作为主的  $T_2$  型)的环境效应进行了评价与对比研究。结果表明, 土壤、径流水体、农副产品环境污染状况,  $T_1$ 、 $T_2$  均为 I 级; 当前社会经济效益  $T_1$ (II 级)高于  $T_2$ (III 级); 生态环境效应  $T_2$ (II 级)优于  $T_1$ (III 级); 综合环境效应  $T_1$ 、 $T_2$  均为 I 级。在此基础上运用灰色关联优势分析进一步区分  $T_1$ 、 $T_2$  综合环境效应的优劣,  $T_1$ 、 $T_2$  与理想状况参考数列的关联度分别为 0.667 0、0.667 4,  $T_2$  的综合环境效应优于  $T_1$ 。从综合环境效应和生态可持续发展来看, 以花椒-农作物间作为主的  $T_2$  型优于以苹果-农作物间作为主的  $T_1$  型。

**关键词:** 农林复合经营生态系统; 多级模糊综合评判-灰色关联优势分析; 环境效应

中图分类号: X820.2 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2005)05-0940-05

## Environmental Influence Assessment of Two Main Types of Agroforestry Ecosystems in Arid Plateau of the North Weihe River in Shanxi

WANG Li-mei<sup>1,2</sup>, SHAO Ming-an<sup>2,3</sup>, ZHENG Ji-yong<sup>2</sup>, WANG Zhong-lin<sup>1</sup>, LI Yang-yang<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture & Forestry, Yangling 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, China; 3. Institute of Geographical Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The effect of agroforestry ecosystems on local environment was studied by using multilevel fuzzy synthetic evaluation--grey correlativity analysis model. Based on the detection and analysis on the environment of agroforestry ecosystems in arid plateau of north Weihe River in Shaanxi province, the agroforestry ecosystems environmental effects of type 1 ( $T_1$ ) in which the main intercrops were apple and crops and type 2 ( $T_2$ ) in which the main intercrops were prickly ash and crops were assessed and analyzed. The results were as follows: the contaminated status of soil, water and agricultural products in  $T_1$  and  $T_2$  belonged to grade I; the present social economical benefits of  $T_1$  (grade II) was better than  $T_2$  (grade III); however, the ecological environmental effects of  $T_2$  was grade II, better than  $T_1$  that was grade III; the comprehensive environmental effects of  $T_1$  and  $T_2$  were all grade I, grey correlativity analysis for the two types showed that the comprehensive environmental effects of  $T_2$  was better than  $T_1$ , with the correlation of  $T_1$  and  $T_2$  0.667 0 and 0.667 4 respectively. From the comprehensive environmental effects and the benefits of ecological sustainable development,  $T_2$  was better than  $T_1$ .

**Keywords:** agroforestry ecosystems; multilevel fuzzy synthetic evaluation--grey correlativity analysis; environmental effects

收稿日期: 2004-12-26

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30230290)

作者简介: 王丽梅(1972—), 女, 主要从事生态学和环境影响评价研究。

联系人: 郑纪勇 E-mail: buddyzheng@163.com

渭北旱塬位于黄土高原南部,包括陕西省的咸阳市、渭南北部、延安南部和铜川市的部分塬区,总面积3万余 km<sup>2</sup>,海拔900~1 800 m,年降雨量550~600 mm,冬季和春季干旱多风,水土流失严重,是我国典型的生态脆弱区。针对该地区独特的地形及气候特点,当地农业以农林间作为主。农林复合经营生态系统在保持水土、抵御害风等方面均取得了良好的效果<sup>[1-4]</sup>,但其营造在对当地恶劣的生态环境产生积极影响的同时,农药、化肥的施用等可能会对当地环境造成污染,并降低农产品的质量<sup>[5,6]</sup>。为研究农林复合经营系统的营造对当地环境产生的综合影响以及不同类型复合经营系统对环境产生影响的程度,本文在实地监测和调查分析的基础上,对渭北旱塬主要类型农林复合经营生态系统的环境效应分别进行了评价与对比研究。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于咸阳市淳化县泥河沟流域,地处东经108°18'~108°50',北纬34°43'~35°03',为西北农林科技大学黄土高原综合治理试验区。当地主要农林复合经营生态系统类型为以苹果-农作物间作为主的T<sub>1</sub>型和以花椒-农作物间作为主的T<sub>2</sub>型。本文选取T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>型中能代表整体状况的样地作为研究对象来进行评价与对比研究。T<sub>1</sub>型代表样地位于淳化县大店乡地母庄村西南,面积为133.33 hm<sup>2</sup>,其中苹果-农作物间作地占总面积的70.3%,花椒-农作物间作地占10.9%,其他占地18.8%;T<sub>2</sub>型代表样地位于地母庄村西北,面积70 hm<sup>2</sup>,其中花椒-农作物间作地占68.3%,苹果-农作物间作地占10%,其他占地21.7%。T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>地内间作农作物主要为小麦和玉米,种植模式为:苹果+冬种小麦+夏种玉米,花椒+冬种小麦+夏种玉米。2样地植被覆盖度、土壤质地、人为管理水平等均相当。

### 1.2 评价指标体系

人工生态系统的经营目的是追求持续的最大的经济效益、生态效益和社会效益,并维持良好的环境质量<sup>[7,8]</sup>,根据这一原则并针对当地水土流失严重、自然环境恶劣、工商业不发达的实际情况,以及农药、化肥的施用可能对环境产生的污染,构建了农林复合经营生态系统综合环境效应评价指标体系,见表1中评价指标体系部分。其中,化肥残留指标主要是硝酸盐累积,农药残留情况经检测发现残留较严重的是有机

氯类农药和有机磷类农药中的对硫磷,其余当地施用的农药未见残留或者残留量甚微,远小于国家标准规定的农药残留限量,因此本文未将其考虑在内。该指标体系的评价因子从结构上又分为准则层、约束层和指标层3个层次,由环境污染状况指标、农副产品污染状况指标、社会经济效益指标、生态环境效应指标4部分共33项指标构成。

### 1.3 评价标准

各环境要素的评价标准,我国已有明文规定的,则依据现有质量标准,如地面水环境质量标准、土壤环境质量标准等。没有明文规定的,则参考相关质量标准和世界卫生组织(WHO)及联合国粮农组织(FAO)规定的标准而定<sup>[9]</sup>。根据区域生态农业的特点,参考该领域专家的意见,把农林复合经营生态系统的综合环境效应分为五级:I级,污染轻,社会经济和生态环境效应好;II级,污染较轻,社会经济及生态环境效应良好;III级,环境效应一般;IV级,环境效应较差;V级,环境效应差。

### 1.4 评价方法

运用多级模糊综合评判-灰色关联优势分析复合模型<sup>[10-13]</sup>进行评价。即首先对指标体系中指标层的各评价因子相对于其上一层指标赋权并进行一级模糊评判,然后,将一级评判结果作为评价对象相对于其上一结构层次(准则层)赋权并进行二级模糊评判;依次类推,得多级模糊综合评判结果。当利用多级模糊综合评判仍不能比较出2个或几个环境单元的质量优劣时,则考虑在此基础上进一步用灰色关联优势分析法进行评价<sup>[13]</sup>,使评价结果更为准确。

本文采用混合赋权法确定权重,即在一级评价中采用改进的标准赋权法,它是从环境指标间危害性的差异出发来确定权重,能更好地反映环境指标的真实权重,其本质仍是一种标准赋权法,表达式见式(1);而在二级以后的评价中,按层次分析(AHP)法确定各环境要素的权重<sup>[14]</sup>。即对表1所示评价指标体系中指标层各因子进行评价(一级评价)时,权重按改进的标准赋权法确定,而对约束层和准则层各因子进行评价(二级、三级评价)时,权重则按层次分析法确定。

$$A_i = \frac{m-1}{\sum_{j=1}^{m-1} (S_{ij+1} - S_{ij})} \div \sum_{i=1}^n \left( \frac{m-1}{\sum_{j=1}^{m-1} (S_{ij+1} - S_{ij})} \right) \quad (1)$$

(i=1, 2, ..., n)(j=1, 2, ..., m-1)

式中:A<sub>i</sub>为第i个指标的权重;S<sub>ij</sub>为第i个指标的j级环境质量标准值,i为指标数,j为级别数。

表1 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>型农林复合经营生态系统环境效应多级模糊综合评判

Table 1 Multilevel fuzzy synthetic evaluation for environmental effect of T1 and T2

评价指标体系			检测值		一级评价		二级评价		三级评价			
准则层	约束层	指标层	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	权重	结果		权重	结果			
						T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>		
环境污染状况	土壤环境污染状况	BHC/10 <sup>-3</sup> mg·Kg <sup>-1</sup>	11.30	9.01	0.500	{1,0,0,0,0}	{1,0,0,0,0}	0.889				
		DDT/10 <sup>-3</sup> mg·Kg <sup>-1</sup>	15.73	12.13	0.500	I级	I级					
	径流水体环境污染状况	COD <sub>Cr</sub> /mg·L <sup>-1</sup>	3.120	2.340	0.011				{1,0,0,0,0}	{1,0,0,0,0}	0.139	
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/mg·L <sup>-1</sup>	0.880	0.640	0.008				I级	I级		
		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N/mg·L <sup>-1</sup>	0.039	0.005	0.120	{1,0,0,0,0}	{1,0,0,0,0}	0.111				
		BHC/mg·L <sup>-1</sup>	0	0	0.287							
		DDT/mg·L <sup>-1</sup>	0	0	0.574							
农副产品污染状况	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /mg·Kg <sup>-1</sup>	619.30	477.35	0.002						0.172		
		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /mg·Kg <sup>-1</sup>	0.028	0.028	0.010							
	BHC/10 <sup>-3</sup> mg·Kg <sup>-1</sup>	5.860	5.025	0.190	{1,0,0,0,0}	{1,0,0,0,0}						
	DDT/10 <sup>-3</sup> mg·Kg <sup>-1</sup>	1.150	0.850	0.380	I级	I级						
	对硫磷 /mg·Kg <sup>-1</sup>	0	0	0.418								
	系统商品率/%	86.00	65.00	0.154								
	产出投入比	3.44	2.85	0.077								
社会经济效益	劳动力利用率/%	75.00	52.00	0.192	{0.24, 0.51, 0.25, 0, 0}	{0.29, 0.13, 0.48, 0.1, 0}				0.271		
	粮食自给程度	0.80	0.90	0.192	II级	III级						
	薪柴自给程度	1.00	1.00	0.192								
	木材自给程度	0.60	0.60	0.192								
空气动力效能	总体防风效能/%	27.60	25.78	0.372	{0.03, 0.68, 0.29, 0, 0}	{0, 0.51, 0.49, 0, 0}	0.593					
	湍流交换削弱率/%	38.50	37.71	0.372	II级	II级						
	空气阻抗系数提高率/%	108.82	107.94	0.256								
	春季增温/℃	0.85	0.78	0.043								
热力水文效能	夏季降温 /℃	0.72	0.68	0.043						0.074		
	空气相对湿度增加率/%	6.53	6.49	0.216	{0.09, 0.14, 0.74, 0.03, 0}	{0.05,0.13, 0.74, 0.06, 0.01}						
	水面蒸发降低率/%	26.92	26.19	0.133	III级	III级						
	土壤含水率(0~60 cm)增加率/%	2.03	1.97	0.432				{0.062,0.4 62,0.474,0 56,0.383,0.002,0}	{0.155,0.4 004,0.001}			
生态环境效应	农田总辐射提高率/%	9.02	8.87	0.133				III级	II级	0.418		
	>12m/s 大风减少率/%	100.00	100.00	0.250								
	减灾效能提高率	100.00	100.00	0.250	{0.5, 0.2, 0.3, 0, 0}	{0.5, 0.2, 0.3, 0, 0}	0.074					
	冰雹灾减少率/%	85.00	85.00	0.250	I级	I级						
水土保持效能提高率	伏旱灾减少率/%	83.00	83.00	0.250								
	抗蚀指数提高率/%	50.29	57.48	0.500	{0, 0.13, 0.87, 0, 0}	{0.44, 0.50, 0.06, 0, 0}	0.259					
土壤抗冲性提高率/%	32.77	35.49	0.500	III级	II级							

注:表中T<sub>1</sub>型为苹果-农作物间作经营系统,T<sub>2</sub>型为花椒-农作物间作经营系统;表中数据为多次检测数据的平均值;在BHC、DDT、对硫磷的检测中,仪器检出限为0.001 mg·kg<sup>-1</sup>;在粮食、薪柴、木材自给程度中,完全自给为1.0。

### 1.5 取样及测定方法

土样:按蛇形布点法选取多个有代表性样点,取0~20 cm 耕层土壤作为测试样品。土壤中六六六(BHC)、滴滴涕(DDT)等指标的测定按 GB/T14550-93 所示方法。

水样:在研究区沟底径流中用水样采集器采集水样,并尽快带回实验室检测。化学需氧量(COD)甲重铬酸钾法<sup>[14]</sup>测定,硝酸盐氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)按 GB7480-87 方

法测定,亚硝酸盐氮(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N)按 GB7493-87 方法测定,BHC、DDT 含量气相色谱法测定<sup>[15]</sup>。

农副产品:按“之”字形布点法,选取能反映大多数情况的植株,取其可食部分作为样品,其中硝酸盐(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)和亚硝酸盐(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)的测定采用分光光度比色法(GB/T 15401-94),BHC 和 DDT 采用气相色谱法(GB/T 5009.19-1996),对硫磷采用气相色谱法(GB/T 5009.20-1996)。

社会经济效益指标数据:通过实地调查获得。

生态环境效应各指标数据:借鉴试区长期定位研究积累资料。

## 2 结果与分析

### 2.1 多级模糊综合评判结果与分析

各评价因子的检测数据和多级模糊综合评判结果见表 1。

从土壤环境污染状况、径流水体环境污染状况和农副产品污染状况的检测结果来看,  $T_1$  型农林复合经营生态系统内土壤、径流水体、农副产品中农药、化肥残留量均不同程度的大于  $T_2$ , 这可能是由于  $T_1$  主要间作林苹果的人为管理要比  $T_2$  主要间作林花椒复杂的多。从评价结果来看,  $T_1$ 、 $T_2$  均为 I 级, 两种类型农林复合经营生态系统对土壤、径流水体和农副产品污染均很轻, 当地农业生产以及农药、化肥施用等人为管理活动, 并没有对水、土环境和农副产品造成严重的污染。

社会经济效益, 从当前情况来看  $T_1$  (II 级) 高于  $T_2$  (III 级), 其中, 系统商品率、产出投入比、劳动力利用率  $T_1$  分别是  $T_2$  的 1.32 倍、1.21 倍、1.44 倍, 明显高于  $T_2$ ; 而粮食自给程度  $T_2$  高于  $T_1$ , 是  $T_1$  的 1.13 倍; 薪柴自给程度和木材自给程度, 两地均为 1.0。

生态环境效应,  $T_2$  (II 级) 优于  $T_1$  (III 级)。其中, 总体防风效能、湍流交换削弱率、空气阻抗系数提高率等空气动力效能以及热力水文效能各指标  $T_1$  优于  $T_2$ ; 减灾效能  $T_1$  等同于  $T_2$ ; 水土保持效能  $T_2$  优于  $T_1$ 。这可能与苹果和花椒间作树种的叶、根系状况等自身特性有关。从保持水土、改善恶劣的自然环境和可持续发展的角度来看, 以花椒-农作物间作为主的  $T_2$  型明显优于以苹果-农作物间作为主的  $T_1$  型。

综合环境效应,  $T_1$ 、 $T_2$  均为 I 级。显然只运用模糊综合评判模型, 还不能准确区分两种类型农林复合经营生态系统总体环境效应的优劣。

表中  $T_1$  型为苹果-农作物间作经营系统,  $T_2$  型为花椒-农作物间作经营系统; 表中数据为多次检测数据的平均值; 在 BHC、DDT、对硫磷的检测中, 仪器检出限为  $0.001 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 在粮食、薪柴、木材自给程度中, 完全自给为 1.0。

### 2.2 灰色关联优势分析

为进一步区分  $T_1$ 、 $T_2$  综合环境效应的优劣, 我们对其进行灰色关联优势分析。指定参考数列为  $X_0 = \{1, 0, 0, 0, 0\}$ , 即对 I 级的隶属度为 1, 而对其他级别的

隶属度为 0。将  $T_1$ 、 $T_2$  综合环境效应模糊综合评价结果  $\{0.40, 0.33, 0.27, 0, 0\}$ 、 $\{0.45, 0.23, 0.29, 0.03, 0\}$  分别作为被比较数列  $X_1$ 、 $X_2$ , 其关联度的计算见表 2。

表 2  $T_1$ 、 $T_2$  综合环境效应状况关联度的计算

Table 2 Correlativity calculation of synthetic environmental effects of  $T_1$  and  $T_2$

	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
$X_0$	1	0	0	0	0
$X_1$ ( $T_1$ )	0.40	0.33	0.27	0	0
$X_2$ ( $T_2$ )	0.45	0.23	0.29	0.03	0
$\xi_1$	0.333	0.476	0.526	1	1
$\xi_2$	0.353	0.566	0.509	0.909	1

根据关联度的计算公式 得  $T_1$  与参考数列的关联度  $r_1 = 0.6670$ ,  $T_2$  与参考数列的关联度  $r_2 = 0.6674$ ,  $T_1$  的关联度小于  $T_2$ , 所以,  $T_1$ 、 $T_2$  综合环境效应都属于 I 级的前提下,  $T_2$  的综合环境效应优于  $T_1$ 。

## 3 结语

土壤、径流水体、农副产品污染状况, 经单要素环境质量模糊评价,  $T_1$ 、 $T_2$  均为 I 级, 均未对当地环境造成明显污染; 生态环境效应,  $T_2$  (II 级) 优于  $T_1$  (III 级), 从抵御害风、保持水土改善当地水土流失严重的角度来看, 以花椒-农作物复合为主的  $T_2$  型比较适合; 当前社会经济效益,  $T_1$  (II 级) 高于  $T_2$  (III 级), 从目前社会经济效益来看, 以苹果-农作物间作为主的  $T_1$  型高于以花椒-农作物间作为主的  $T_2$  型, 在当地经济不发达的情况下, 经济效益的大小直接决定着经营者的动力及其对生态系统的支撑和维护的投入能力, 这成为以苹果-农作物间作为主的  $T_1$  型农业生态系统比较受农民欢迎的主要原因。综合环境效应,  $T_1$ 、 $T_2$  型均为 I 级。对两种类型农林复合经营生态系统进行灰色关联优势分析,  $T_1$ 、 $T_2$  与理想状况参考数列的关联度分别为 0.667 0、0.667 4,  $T_2$  型的综合环境效应优于  $T_1$ 。从综合环境效应和生态可持续发展的长远利益来看, 以花椒-农作物间作为主的  $T_2$  型优于以苹果-农作物间作为主的  $T_1$  型。

### 参考文献:

- [1] 王佑民, 王忠林. 黄土高原沟壑区混农林的结构及其防护效益研究 [J]. 水土保持学报, 1992, 6(4): 54-59.
- [2] 王忠林, 李会科, 贾秀贤. 渭北旱塬花椒地埂林土壤抗蚀抗冲性研究 [J]. 水土保持研究, 2000, 7(1): 33-37.
- [3] Om P T. Structure and function of traditional agroforestry systems in the Western Himalayas, I. Biomass and Productivity [J]. *Agroforestry Sys-*

- tems, 1989, 9:47-90.
- [4] Nair P K R. Agroforestry systems in tropics[M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989. 44-102.
- [5] 彭奎, 欧阳华, 朱波, 等. 典型农林复合系统氮素平衡污染与管理研究[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(3): 488-493.
- [6] 吕耀. 农业生态系统种氮素造成的环境污染[J]. 农业环境保护, 1998, 17(1): 35-39.
- [7] 吴钢, 魏晶, 张萍, 等. 三峡库区农林复合生态系统的效益评价[J]. 生态学报, 2002, 22(2): 233-239.
- [8] 陈利顶, 李俊然, 傅伯杰. 三峡库区生态环境综合评价与聚类分析[J]. 农村生态环境, 2001, 17(3): 35-38.
- [9] FAO, Guidelines on Environmental Criteria for the Registration of Pesticides [M]. Rome, 1985.
- [10] Harremoes P, Turner R. Methods for integrated assessment [J]. *Regional Environment Change*, 2001, 2 (2): 57-65.
- [11] 沈珍瑶, 谢彤芳. 环境质量评价中若干评价方法的比较[J]. 干旱环境监测, 1998, 12 (1): 25-27.
- [12] Smit B, Spaling H. Methods for Cumulative Effects Assessment [J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 1995, 15: 81-103.
- [13] 胡永宏, 贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [14] 奚旦立, 孙裕生, 刘秀英. 环境监测[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995. 389-391.
- [15] 默涛, 陈鹤鑫. 农药残留量分析方法[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1992. 143-158.