

黄土丘陵区纸坊沟流域近 70 年农业生态安全评价

李 芬¹, 王继军^{1,2,*}

(1. 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:在国内外已有研究的基础上, 结合黄土丘陵区纸坊沟流域近 70a 来农业生态经济系统演变过程, 参考 PSR 模型, 从生态环境、社会经济和综合功能 3 方面构建黄土丘陵区流域农业生态安全评价指标体系, 基于层次分析法赋权的综合指数评价方法, 对纸坊沟流域 1938 ~ 2005 年农业生态安全状况进行评价。结果表明: 该流域农业生态安全状况发生了先降后升的变化, 1938 年处于较安全状况, 1958 年为极不安全状况, 1975 年和 1985 年都处于较不安全状况, 1995 年处于临界安全状况, 2005 年属于较安全状况。评价结果表明纸坊沟流域还需要进一步优化农业系统结构, 实现农业生态安全。

关键词:黄土丘陵区; 纸坊沟流域; 农业生态安全; 层次分析法; 评价

文章编号: 1000-0933(2008)05-2380-09 中图分类号: F303.4, Q148, S181, X826 文献标识码: A

Assessment of agricultural ecological security of the Zhifanggou Valley in the Loess Hilly Region over 70 years

LI Fen¹, WANG Ji-Jun^{1,2,*}

1 College of Resource and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 2380 ~ 2388.

Abstract: Ecological security is one of the foundations of national security, and is the basis of regional sustainable development. Regional ecological security includes ecological-environmental security, economic security and social security. On the basis of the development of the eco-economic system of Zhifanggou Valley in the Loess Hilly Region over 70 years, based on historical research and related literature, and with the Pressure-State-Response (PSR) model framework as a foundation, a 3-layer conceptual assessment index system for the agricultural eco-security, which included ecological-environment, socio-economic, and integrated functions, was established for the Loess Hilly Region. Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and an integrating index evaluation method, the Zhifanggou Valley was used as a case study and its agricultural eco-security status, from 1938 to 2005, was assessed quantitatively. The results showed that its Ecological Security Integrated Value (ESIV) had a trend of unsafe to safe. The valley was in a relatively safe and a very unsafe state

基金项目:国家科技支撑资助项目(2006BAD09B07); 国家自然科学基金资助项目(40771082); 中国科学院水利部水土保持研究所领域前沿资助项目(SW05102)

收稿日期:2007-07-04; **修订日期:**2008-03-10

作者简介:李芬(1984 ~), 女, 山西运城人, 硕士生, 主要从事流域生态和生态经济研究。E-mail: lifen0359@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jjwang@ms.iswc.ac.cn

致谢:本研究得到中国科学院水利部水土保持研究所的邹厚远、卢宗凡、上官周平、郝明德、谢永生、程积民、白岗栓、杨勤科、焦菊英等研究员在指标的选取、各指标生态安全标度划分和指标权重确定等方面的热心指导和帮助, 在此一并致谢

Foundation item: The project was financially supported by National Sciences Project of the Ministry of Science and Technology of China (No. 2006BAD09B07); National Natural Science Foundation of China (No. 40771082); Field Innovation Program of Institute of Soil and Water Conservation, CAS, MWR (No. SW05102)

Received date: 2007-07-04; **Accepted date:** 2008-03-10

Biography: LI Fen, Master candidate, mainly engaged in basin ecology and eco-economic. E-mail: lifen0359@yahoo.com.cn

in 1938 and 1958, respectively; in an unsafe condition in 1975 and 1985; and in a critically safe and a relatively safe state in 1995 and 2005, respectively. The research results indicated that the agricultural system structure of the Zhifanggou Valley is still in need of further optimization for realizing agricultural eco-security.

Key Words: the Loess Hilly Region; Zhifanggou Valley; agricultural eco-security; analytic hierarchy process (AHP); assessment

“生态安全”是一个诠释古老问题的新概念,自 1989 年国际应用系统分析研究所提出生态安全概念以来,生态安全研究成为国内外相关学者研究的前沿和热点之一^[1~17],其中关注较多的是“生态安全评价方法和指标体系的设计”,如国外 Wackernagel 等提出的“生态足迹”概念及模型, Kondratyev 等对拉多加湖流域水资源进行生态安全评价,国内虞孝感等从生态补偿和流域管理等社会经济角度对长江流域生态安全状况开展的评估,陈鹏和潘晓玲从景观格局指数损失角度分析了阜康三工河流域生态安全状况等,但由于研究对象的复杂性和特殊性,国内外不同学者在生态安全评价指标体系和研究方法上还没有形成共识,大部分学者在研究过程中多强调特定时空下的现状评价,缺乏对整个生态经济系统演变过程的研究,所以其适用范围有待进一步探讨。

本文在国内外已有研究的基础上,以生态环境较为脆弱的黄土丘陵区纸坊沟流域为例,在该流域近 70 年农业生态经济系统演变过程分析的基础上,基于压力-状态-响应(PSR)模型,从生态环境、社会经济和综合功能角度提出黄土丘陵区流域农业生态安全指标体系与综合评价方法,对该流域 1938~2005 年农业生态安全状况变化进行定量评价与动态分析,为黄土丘陵区同类型区域生态安全评价提供参考,也为区域农业可持续发展战略的制定和生态安全管理提供科学依据。

1 纸坊沟流域概况及生态经济系统演变过程

纸坊沟流域地处黄土丘陵沟壑区第二副区,延河一级支流杏子河的下游,隶属陕西省安塞县沿河湾镇^[18],东经 109°19'23",北纬 36°51'30",属于暖温带半干旱气候区,流域面积 8.27 km²,包含 2 个行政村中的纸坊沟、寺岷岷、瓦树塌 3 个自然村。沟壑密度 8.06 km/km²,海拔 1068~1309 m,年平均气温 8.8°C,年平均降雨量 500 mm,降水年际变率大,且年内分配不均,多暴雨,年蒸发量大于 1463 mm。

依据调查和监测资料得知^[18~20]:1938 年人口稀少,人口密度仅 11.4 人/km²,耕垦指数 13.4%,林草茂盛,粮食单产为 1449 kg/hm²,生态系统与经济系统协调发展。随着人口的增多及战争的影响,从 20 世纪 40 年代开始,开荒种粮,农耕地不断扩大,耕垦指数高达 51.5%,乔灌木植被破坏殆尽,余存果树和灌木 3.5 hm²,水土流失极为严重,粮食单产下降到 416 kg/hm²,形成“越穷越垦,越垦越穷”状态,生态环境与社会经济发展之间矛盾尖锐。1973 年纸坊沟流域开始水土保持综合规划与治理,以恢复植被、防止水土流失、建设基本农田为中心,实行山水田林路综合治理。此后,经过“六五”、“七五”、“八五”、“九五”和“十五”等 20 多年的综合治理,生态环境在很大程度上得以修复,经济实力持续提高。2005 年林草面积率达到 58.2%,土壤侵蚀模数降到 1700 t/(km²·a),农林牧比例调整为 1:6.2:3.9,人均基本农田 1.68 hm²,粮食单产达 4771 kg/hm²,人均纯收入达到 2448 元,生态系统与经济系统良性互动。

2 生态安全评价方法

2.1 农业生态安全评价指标体系的建立及权重的确定

农业生态安全评价指标体系的建立应遵循以下基本原则:(1)生态经济系统的完整性与动态性,(2)层次性,(3)科学性与实用性,(4)数据的可行性与可操作性,(5)指标应具有预测性。

黄土丘陵区流域农业生态安全评价指标体系的建立是以纸坊沟流域近 70 a 农业生态经济系统的演变过程为依据,在动态监测与实地调研的基础上,遵循以上基本原则,参考联合国经济开发署(OECD)建立的“压力-状态-响应”(PSR)模型框架^[21,22],征求相关领域多位专家的意见,从生态环境、社会经济、综合功能三方面

选取了 17 个具体的评价指标。采用层次分析法确定指标权重(表 1)。

表 1 黄土丘陵区流域农业生态安全评价指标体系层次结构

Table 1 Assessment index system of agricultural eco-security in the Valley for the Loess Hilly Region

目标层(O) Object layer	准则层(U) Criteria layer	指标层(T)* Index layer	指标权重 (Wi) Weight
黄土丘陵区流域农业生态安全评价 Assessment of agricultural eco-security in the Valley for the Loess Hilly Region	生态环境(U1) Ecological-environment (0.3951)	人口密度(A1) Peasants population density	0.034 137
		人均基本农田(A2) Average areas of basic farmland	0.029
		年平均降水量(A3) Average annual precipitation	0.024 773
		林草面积率(A4) Ratio of forest and grass areas	0.166 456
		群落演替阶段(A5) Successional stages of community	0.042 868
		土壤侵蚀模数(A6) Soil corrosion modulus	0.097 866
	社会经济(U2) Socio-economic (0.4887)	人口自然增长率(B1) Ratio of natural population growth	0.055 761
		人均粮食产量(B2) Per capita output of grain	0.122 713
		人均纯收入(B3) Average annual net income of peasants	0.231 693
		农产品商品率(B4) Ratio of marketable farm produce	0.03 978
		农村恩格尔系数(B5) Engel coefficient of rural residents	0.013 732
		农村劳动力人均受教育年限(B6) Average educational levels of rural labor force	0.025 168
	综合功能(U3) Integrated function (0.1162)	农林牧土地利用结构(C1) Land use structure of agriculture, forestry and animal husbandry	0.060 075
		粮食单产潜力实现率(C2) Ratio of per unit area yield of grain production potential	0.012 062
		农业产投比(C3) Proportion of agricultural regional output-input	0.007 431
		工副业贡献率(C4) Proportion of industrial and all kinds of sideline to total income of peasants	0.008 057
		流域农业产业链与资源量相关度(C5) Correlation degree of agricultural industrial chain and resources	0.028 585

* 下同 the same below

2.2 计算方法

2.2.1 评价指标数据标准化处理

表 1 中,有量化的指标,也有一些定性的指标,如:群落演替阶段、流域农业产业链与资源量相关度,这些定性指标不是具体的数值,而是语言评价的等级^[13]。为了消除由于量纲不同带来的不可比性,在评价前,需要对这些定性指标进行量化处理,使不同类型的指标数据具有相同的量纲,并对原始数据采取归一法进行标准化处理。

通过查阅大量文献资料,参考以下标准^[23~25]:(1)国家、行业和地方规定的标准以及国际标准,如:人均粮食产量阈值参考陕西省和国家的标准;农村恩格尔系数标度参考国际标准,农村劳动力人均受教育年限标度参考陕西省和全国的标准,等;(2)黄土丘陵区的生态环境背景值或本底值,如人口密度最大值参考绥德县,最小值参考吴旗县;年平均降水量最小值参考河西走廊一带,等;(3)类比标准;(4)科学研究已判定的生态经济效应值,如:流域农业产业链与资源量相关度标度的确定。根据以上标准并结合实际情况,综合 10 位专家的意见,最终确定了每个指标的生态安全标度范围(表 2),给不同年份各个指标值打分(表 3)。

接表 2 各指标的生态安全标度值

表 3 纸坊沟流域 1938 ~ 2005 年各指标打分值

Table 3 Index score of the Zhifanggou Valley from 1938 to 2005

S_{ij}	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	C3	C4	C5
1938	9	5	5	9	9	9	1	9	3	1	1	2	9	3	1	1	3
1958	9	3	5	1	1	1	1	9	1	1	1	2	1	1	1	1	1
1975	9	3	4	2	2	2	2	9	1	1	1	3	2	1	3	1	2
1985	8	5	5	3	6	3	4	8	3	1	2	4	2	1	4	1	4
1995	7	8	3	6	7	7	2	7	5	3	3	4	6	3	6	2	7
2005	7	7	5	8	9	8	1	8	6	6	5	5	9	8	6	7	7

设 $A_i (i=1, 2, \dots, 17)$ 为指标集; $B_j (j=1, 2, 3, 4, 5, 6)$, 分别代表 1938、1958、1975、1985、1995、2005 年) 为年份集。

根据公式(1)处理原始数据:

$$P_{ij} = W_i \times S_{ij} \quad (1)$$

式中, P_{ij} 为各指标归一化值, W_i 为各指标权重, S_{ij} 为打分值, 利用公式(1)对所有指标原始数据进行归一化处理, 结果见表 4。

表 4 纸坊沟流域 1938 ~ 2005 年农业生态安全评价指标归一化值

Table 4 Unitary data of assessment indexes for agricultural eco-security of the Zhifanggou Valley from 1938 to 2005

P_{ij}	各指标归一化值 Unitary data of indexes					
	1938	1958	1975	1985	1995	2005
A1	0.307 233	0.307 233	0.307 233	0.273 096	0.238 959	0.238 959
A2	0.145	0.087	0.087	0.145	0.232	0.203
A3	0.123 865	0.123 865	0.099 092	0.123 865	0.074 319	0.123 865
A4	1.498 104	0.166 456	0.332 912	0.499 368	0.998 736	1.331 648
A5	0.385 812	0.042 868	0.085 736	0.257 208	0.300 076	0.385 812
A6	0.880 794	0.097 866	0.195 732	0.293 598	0.685 062	0.782 928
B1	0.055 761	0.055 761	0.111 522	0.223 044	0.111 522	0.055 761
B2	1.104 417	1.104 417	1.104 417	0.981 704	0.858 991	0.981 704
B3	0.695 079	0.231 693	0.231 693	0.695 079	1.158 465	1.390 158
B4	0.039 78	0.039 78	0.039 78	0.039 78	0.119 34	0.238 68
B5	0.013 732	0.013 732	0.013 732	0.027 464	0.041 196	0.068 66
B6	0.050336	0.050 336	0.075 504	0.100 672	0.100 672	0.125 84
C1	0.540 675	0.060 075	0.120 15	0.120 15	0.360 45	0.540 675
C2	0.036 186	0.012 062	0.012 062	0.012 062	0.036 186	0.096 496
C3	0.007 431	0.007 431	0.022 293	0.029 724	0.044 586	0.044 586
C4	0.008 057	0.008 057	0.008 057	0.008 057	0.016 114	0.056 399
C5	0.085 755	0.028 585	0.057 17	0.114 34	0.200 095	0.200 095

2.2.2 生态安全度的计算

生态安全度计算依据公式(2):

$$ESIV_j = \sum_{i=1}^{17} W_i \times P_{ij} \quad (2)$$

式中, $ESIV_j$ 为生态安全综合值, P_{ij} 为各指标归一化值。

根据公式(2), 计算得出黄土丘陵区农业生态安全值(表 5)。

2.3 生态安全阈值的限定

生态安全评价等级的划分是为了对流域农业生态经济系统不同演变阶段生态安全度相对大小进行比较,

体现生态环境建设、社会经济发展和综合功能对系统生态安全的影响程度。

表 5 纸坊沟流域农业生态安全值

Table 5 The values of agricultural eco-security of the Zhifanggou Valley

年份 Year	生态环境功能值 Ecological-environment	社会经济功能值 Socio-economic	综合功能值 Integrated function	生态安全综合值 ESIV
1938	3.340 808	1.959 105	0.678 104	5.978 017
1958	0.825 288	1.495 719	0.116 21	2.437 217
1975	1.107 705	1.576 648	0.219 732	2.904 085
1985	1.592 135	2.067 743	0.284 333	3.944 211
1995	2.529 152	2.390 186	0.657 431	5.576 769
2005	3.066 212	2.860 803	0.938 251	6.865 266

在上述计算结果的基础上,参考国内外相关研究^[16,24],确定了 5 级量度标准作为黄土丘陵区农业生态安全评价等级标准(表 6),区间量度值范围为[0.00,9.00]。

表 6 评价等级及其标准化值

Table 6 Assessment grade and standardized value

标准化值 Standardized value	[0,2.5]	(2.5,4]	(4,5.6]	(5.6,7.5]	(7.5,9]
评价等级 Grade	I	II	III	IV	V
评价状态 State	恶劣 Very bad	较差 Worse	一般 Normal	良好 Nice	最佳 Perfect
生态安全度 Safety degree	极不安全 Very unsafe	较不安全 Unsafe	临界安全 Critical safe	较安全 Relatively safe	安全 Safe

3 生态安全评价

3.1 纸坊沟流域 1938 ~2005 年生态安全变化分析

依据表 5 得出近 70a 来各代表年份相关指标的变化情况(图 1)。

(1)生态环境功能值

由表 5 和图 1 可知,纸坊沟流域生态环境经历了破坏-修复的过程,1938 年该流域生态系统处于自然平衡状态,之后,生态环境遭到严重破坏,生态环境功能值由 1938 年的 3.341 下降到 1958 年的 0.825,这说明在这 20 年间,人类活动对生态环境造成的负荷急剧加重,表现在人口密度增加了 1.4 倍,人均基本农田面积逐年下降,耕垦指数增长了 38.1%,林草地覆盖率由 76.5% 下降到 0.43%,1938 年土壤侵蚀模数小于 1000 t/(km²·a),而 1958 年已超过 20000t/(km²·a);从 20 世纪 60 年代开始,在延安地区、陕西省和国家相关政策的引导下,修建基本农田,积极倡导植树造林,恢复植被,特别是国家“七五”计划以来,纸坊沟流域成为国家综合治理试验示范区,1999 年又实施了“退耕还林草”工程,该流域生态经济系统结构有了较大调整,2005 年耕垦指数下降了 42.6%,土壤侵蚀模数下降,植物物种丰富度增加,由 45 科 151 种增加到 64 科 263 种。总体而言,目前生态环境仍处于修复治理阶段。

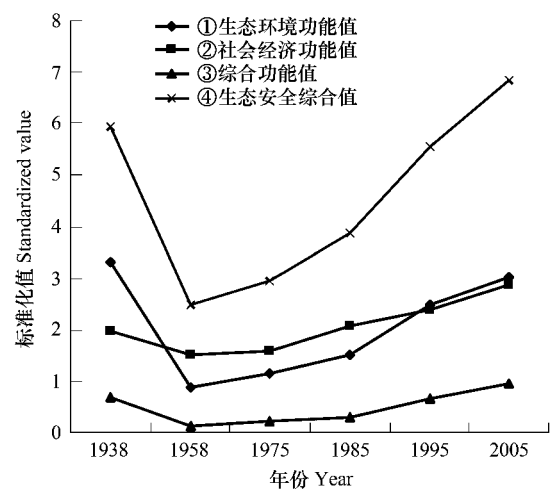


图 1 1938 ~1958 年纸坊沟流域农业生态安全动态变化
Fig. 1 Dynamics of agricultural eco-security in the Zhifanggou Valley from 1938 to 2005

①Ecological-environment; ②Socio-economic; ③Integrated function;
④ESIV

(2) 社会经济功能值

社会经济功能值经历了下降-回升过程,从 1938 年的 1.959 下降到 1958 年的 1.496,这主要受以下因素影响:人口不断增长,土地生产力下降,人均纯收入不高,粮食单产在这 20a 间下降了 3.48 倍。从 20 世纪 60 年代开始,社会经济功能值缓慢上升,到 2005 年已增到 2.861,与 1958 年相比提高了 2 倍,远大于 1938 年水平,主要归因于农业系统结构的持续优化。

(3) 综合功能值

从综合功能值来分析,它先减少后增加,1938 年为 0.678,而到 1958 年减为 0.116,这主要是因为大面积开荒,农耕地增加,林草植被覆盖率减小,农林牧比例严重失调,由 1:3.83:1.89 变为 1:0.01:0.7。从 60 年代开始,综合功能值慢慢回升,到 2005 年为 0.938,比 1958 年增加了 7 倍,高于 1938 年水平,主要原因是农民文化素质提高,加上国家的一系列政策引导,农民的生产积极性提高,经营理念发生变化,由 1938 年的单一粮发展到目前的林草业、畜牧业及相关产业等产业多元化,农林牧土地利用结构日趋合理化,工副业比重持续增加,流域农业产业链与资源量相关度逐步协调,综合功能值持续稳定增长。

3.2 生态安全度变化

由表 6 和图 1 分析得知:随着生态环境功能值、社会经济功能值和综合功能值的变化,生态安全综合值也发生大幅度变化,变化趋势亦呈现先下降后回升态势。1938 年该流域农业生态安全处于较安全状态,人口密度小,林草茂盛,水源充足,生态环境适宜;该流域内农民仅从事农业生产活动,人均粮食产量 1638.3kg,生活自给自足。此时生态环境功能值大于社会经济功能值、综合功能值,这一结果符合当时的社会实际情况。1958 年林草面积仅为土地面积的 0.4%,生态环境极度恶化,农林牧比例严重失调,粮食产量大幅度下降,出现一系列的生态、社会经济问题,生态安全综合值与 1938 年相比减少了 3.541,农业生态安全状况由较安全变为极不安全。1975、1985 年农业生态经济系统处于不稳定恢复期,社会经济功能值大于生态环境功能值、综合功能值,其生态安全综合值均高于 1958 年、低于 1938 年。1995 年生态环境功能值大于社会经济功能值、综合功能值,2005 年生态安全综合值上升到 6.865,比 1958 年增加了 4.428,高于 1938 年水平,农业生态经济系统步入良性循环态势。

4 结论与讨论

(1) 利用本文所建立的黄土丘陵区农业生态安全评价指标体系和生态安全度计算模型,对流域农业生态安全进行了动态分析和研究,结果表明:纸坊沟流域农业生态安全状况发生了先降后升的变化,1938 年处于较安全状况,1958 年为极不安全状况,是该流域农业生态安全的转折点,1975 年和 1985 年都处于较不安全状况,1995 年处于临界安全状况,2005 年属于较安全状况。

(2) 目前,该流域农业生态经济系统处于生态环境、社会经济良性循环态势,农业生态安全属于较安全状况,这主要归因于人均纯收入增加,人均粮食产量提高等社会经济功能值的增加。但综合生态环境、社会经济和综合功能这三方面分析,依然存在着人口持续增多、人均耕地减少、水资源紧缺、污染负荷加重、农业产投比低、农业产业链与资源量相关度不高等不利因素,制约着该流域农业生态经济系统的进一步协调发展,生态系统还未达到 1938 年的自然平衡状态,纸坊沟流域还需要进一步优化农业系统结构,实现农业生态安全。

References:

- [1] Xiao D N, Chen W B, Guo F L. On the basic concepts and contents of ecological security. *Chin J Appl Ecol*, 2002, 13(3): 354–358.
- [2] Wang G, Wang L, Wu W. Recognition on regional ecological security definition and assessment system. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1627–1637.
- [3] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, *et al.* National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375–390.
- [4] Kondratyev S, Granskaya T, Ignatieva N, *et al.* Assessment of present state of water resources of Lake Ladoga and its drainage basin using sustainable development indicators. *Ecol Indicators*, 2002, 2(1-2): 79–92.

- [5] Gao C B, Chen X G, Wei C H, *et al.* Quantitative evaluation of ecological security status and trends: a case study of Guangdong Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7):2191—2197.
- [6] Chen G J. On ecological security. *Chongqing Environmental Science*, 2002, 24(3):1—4.
- [7] Cui S H, Hong H S, Huang Y F, *et al.* Progress of the ecological security research. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4):861—868.
- [8] Anantha K D. Ecological Security and Capabilities: A Conceptual Framework for Sustainable Development. Italy: University of Pavia, 3rd Conference on the Capability Approach: From Sustainable Development to Sustainable Freedom. 7—9 September, 2003.
- [9] Yu X G. The problems of ecological security in the Yangtze basin and some suggestions. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(3):294—298.
- [10] Chen P, Pan X L. Ecological risk analysis of regional landscape in inland river watershed of arid area—a case study of Sangong river basin in Fukang. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(4):116—120.
- [11] Wang G X, Chen G D, Qian J. Several problems in ecological security assessment research. *Chin J Appl Ecol*, 2003, 14(9):1551—1556.
- [12] Chen D J, Xu Z M. Study on assessment of the ecological security in the continental watersheds in northwest China. *Arid Land Geography*, 2002, 9(3):219—224.
- [13] Wang H M, Guo W, *et al.* National ecological security: concept, evaluation and measures. *Management World*, 2001, 2(1):149—156.
- [14] Tang J, Li H Y, Si A. Evaluation of ecological security of agricultural sustainable development in Tongyu country during 20 years. *Research of Agricultural Modernization*, 2007, 1(1):75—78.
- [15] Wang Z X, Zhu X D, Shi L, *et al.* Ecological security assessment model and corresponding indicator system of the regions along Huaihe River in Anhui Province. *Chin J Appl Ecol*, 2006, 17(12):2431—2435.
- [16] Wang J J, Zhen K, *et al.* The index system of reviewing effects of ecological agriculture construction in the medium scale areas. *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, (3):243—247.
- [17] Yang S M, Li Y W, Li Y Z. The assessment index system of Zhalong wetland eco-security. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(5):127—131.
- [18] Ansai Comprehensive Research Station. Studies on ecological agriculture with soil and water conservation in Loess Hilly Gully Region. Xi'an: Tianze Press, 1990. 1—16, 40—41.
- [19] Lu Z F, Liang Y M, Liu G B. Studies on ecological agriculture with soil and water conservation in Loess Hilly Gully Region. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1997. 15—16.
- [20] Wang J J, Guo M C, *et al.* Study of the developing law of ecol-economic system in Zhifanggou valley. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(10):324—329.
- [21] FAO Proceedings. Land Quality Indicators and Their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development. Proceedings of the Workshop organized by the Water Development Division FAO. Agriculture Development, 1997, (2):5.
- [22] Rainer WALZ. Development of Environmental Indicator Systems and Experiences from Germany. *Environmental Management*, 2000, 25(6):613—623.
- [23] Wu K Y. Studies on regional ecological security evaluation. Doctorate Dissertation. Hefei: University of Science and Technology of China, 2003. 4, 32.
- [24] Zuo W, Wang Q, Wang W J, *et al.* Study on regional ecological security assessment index and standard. *Geography and Territorial Research*, 2002, 18(1):67—71.
- [25] Statistical Yearbook of Shaanxi (1989—2006). Statistical Bureau of Shaanxi Province. Beijing: China Statistics Press, 1989—2006.
- [26] Tian X J. Biodiversity and Conservation Biology. Beijing: Chemical Industry Press, 2005. 1—108.
- [27] Tilman D, Wedin D, Knops J. Production and Sustainability Influenced by biodiversity in Grassland Ecosystem. *Nature*, 1996, 379:718—720.

参考文献:

- [1] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 354—358.
- [2] 王耕, 王利, 吴伟. 区域生态安全概念及评价体系的再认识. *生态学报*, 2007, 27(4): 1627—1637.
- [5] 高长波, 陈新庚, 韦朝海, 等. 广东省生态安全状态及趋势定量评价. *生态学报*, 2006, 26(7): 2191—2197.
- [6] 陈国阶. 论生态安全. *重庆环境科学*, 2002, 24(3): 1—4.

- [7] 崔胜辉,洪华生,黄云凤,等.生态安全研究进展.生态学报,2005,25(4):861~868.
- [9] 虞孝感.长江流域生态安全问题及建议.自然资源学报,2002,17(3):294~298.
- [10] 陈鹏,潘晓玲.干旱区内陆流域区域景观生态风险分析——以阜康三工河流域为例.生态学杂志,2003,22(4):116~120.
- [11] 王根绪,陈国栋,钱鞠.生态安全评价研究中的若干问题.应用生态学报,2003,14(9):1551~1556.
- [12] 陈东景,徐中民.西北内陆河流域生态安全评价研究——以黑河流域中游张掖地区为例.干旱区地理,2002,9(3):219~224.
- [13] 王韩民,郭玮,等.国家生态安全:概念、评价及对策.管理世界,2001(2):149~156.
- [14] 汤洁,李海毅,斯蔼.吉林省通榆县近20年农业可持续发展的生态安全.农业现代化研究,2007,1(1):75~78.
- [15] 王振祥,朱晓东,石磊,等.安徽省沿淮地区生态安全评价模型和指标体系.应用生态学报,2006,17(12):2431~2435.
- [16] 王继军,郑科,等.中尺度生态农业建设效益评价指标体系研究.水土保持研究,2000,7(3):243~247.
- [17] 杨时民,李玉文,吕玉哲.扎龙湿地生态安全评价指标体系研究.林业科学,2006,42(5):127~131.
- [18] 安塞水土保持综合试验站编.黄土丘陵沟壑区水土保持型生态农业研究(上册).西安:天则出版社,1990. 1~16,40~41.
- [19] 卢宗凡,梁一民,刘国彬编.中国黄土高原生态农业.西安:陕西科学技术出版社,1997. 15~16.
- [20] 王继军,郭满才,等.纸坊沟流域生态经济系统演变规律研究.中国农学通报,2005,21(10):324~329.
- [23] 吴开亚.区域生态安全的综合评价研究.合肥:中国科学技术大学博士论文,2003. 4:32.
- [24] 左伟,王桥,王文杰,等.区域生态安全评价指标与标准研究.地理学与国土研究,2002,18(1):67~71.
- [25] 陕西省统计年鉴(1989~2006).陕西统计局主编,北京:中国统计出版社,1989~2006.
- [26] 田兴军主编.生物多样性及其保护生物学.北京:化学工业出版社,2005. 1~108.

表 2 各指标的生态安全标准度值

Table 2 The scope of ecological security for indexes

各具体指标 Indexes	指标标准度 The scope of indexes								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A1:人口密度(人/km ²)	≥200	(200,160]	(160,120]	(120,100]	(100,80]	(80,70]	(70,60]	(60,50]	<50
A2:人均基本农田(hm ² /人)	≤0.013	(0.013,0.033]	(0.033,0.066]	(0.066,0.08]	(0.08,0.1]	(0.1,0.12]	(0.12,0.133]	(0.133,0.166]	(0.166,0.2)
A3:年平均降水量(mm)	≤200	(200,300]	(300,400]	(400,500]	(500,600]	(600,700]	(700,800]	(800,900]	>900
A4:林草面积率(%)	≤5	(5,15]	(15,25]	(25,35]	(35,45]	(45,50]	(50,60]	(60,70]	>70
A5:群落演替阶段 ^[26,27]	1年生田间 杂草	稀疏先锋 草本群落	密集先锋 草本群落	多年生 草本群落	多年生草本 + 半灌木群落	半灌木 + 多年生 草本群落	沙棘或黄刺 玫瑰丛	虎榛子灌丛	顶级群落
A6:土壤侵蚀模数(t/(km ² ·a))	≥20000	(20000,16000]	(16000,12000]	(12000,8000]	(8000,6000]	(6000,3500]	(3500,2000]	(2000,1000]	<1000
B1:人口自然增长率(%)	≥30	(30,20]	(20,15]	(15,10]	(10,8]	(8,6]	(6,4]	(4,2]	<2
B2:人均粮食产量(kg/人)	≤100	(100,150]	(150,200]	(200,250]	(250,300]	(300,350]	(350,400]	(400,450]	>450
B3:人均纯收入(元/人)	≤300	(300,500]	(500,1000]	(1000,1500]	(1500,2000]	(2000,2500]	(2500,3500]	(3500,4000]	≥4 000
B4:农产品商品率(%)	≤20	(20,25]	(25,35]	(35,45]	(45,55]	(55,65]	(65,75]	(75,85]	>85
B5:农村恩格尔系数(%)	≥65	(65,59]	(59,54]	(54,50]	(50,45]	(45,40]	(40,35]	(35,30]	<30
B6:农村劳动力平均受教育年限(a)	0	(0,3]	(3,5]	(5,6]	(6,9]	(9,11]	(11,13]	(13,15]	>15
C1:农林牧土地利用结构(%)	≤1:1.0	(1:1,1:1.5]	(1:1.5,1:2]	(1:2,1:3]	(1:3,1:3.5]	(1:3.5,1:4]	(1:4,1:4.5]	(1:4.5,1:5]	>1:5
C2:粮食潜力实现率(%)	≤20	(20,30]	(30,40]	(40,50]	(50,60]	(60,70]	(70,80]	(80,90]	≥90
C3:农业产投比	<0.5	(0.5,1]	(1,1.5]	(9,10] (1.5,2]	(8,9] (2,2.5]	(7,8] (2.5,3]	(6,7] (3,3.5]	(5,6] (3.5,4]	(4,5)
C4:工副业贡献率(%)	<10	(10,20]	(20,30]	(30,35]	(35,40]	(40,50]	(50,55]	(55,60]	>60
C5:流域农业产业链与资源量相关度	广种垦荒	广种	单一种粮	农果农牧萌芽	农果发展, 林牧萌芽	主导产业培育	相关产业形成	产业间形成有机 统一关系	生态经济社会 系统良性循环

C3 标度说明:根据农业生态经济系统实际运行情况及对 10 余年监测数据的分析,并与相关专家探讨后,认为:当农业产投比值为(4,5)时,农业投入结构合理,农业生产具有可持续性;当比值 <4 时,农业呈现“广种薄收”情况;当比值 >5 时,农业投入结构不合理或投入的有效利用率较低

1 年生田间杂草 annual field weeds community;稀疏先锋草本群落 sparse pioneer community of herbage;密集先锋草本群落 thick pioneer community of herbage;多年生草本群落 perennial herbage community;多年生草本 + 半灌木群落 perennial grass + shrub community;半灌木 + 多年生草本群落 shrub + perennial grass community;沙棘或黄刺玫瑰灌丛 *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *Sinensis* Rousi or *Rosa xanthina* Lindl. community;虎榛子灌丛 *Ostryopsis davidiana* Dene community;顶级群落 climax community;广种垦荒 large areas cultivation and exploitation of virgin land;广种 large areas cultivation;单一一种粮 single grain cultivation;农果农牧萌芽 bud of fruit trees and animal husbandry;农果发展 development of fruit trees;林牧萌芽 bud of wood and animal husbandry;主导产业培育 cultivation of Leading Industry;相关产业形成 formation of industry;产业间形成有机统一关系 unified relationship in industries;生态经济社会系统良性循环 benign circle between ecology system, economic system and social system