

水土流失地区农田可持续利用的评价模型研究^①

张壬午 成为民 计文瑛 (农业部环境保护科研监测所, 天津 300191)

陈 林 (邮电部系统设计室)

孟 中 (天津商学院计算机应用中心)

摘要 通过水土流失地区不同农业生产方式对土地质量及土壤生产力的影响研究, 探讨不同作物及其不同的种植方式对农田可持续利用的评价预测模型及土地资源利用的价值核算方法。通过对山西省闻喜县的案例应用验证, 表明了在农村可持续发展研究中的可行性。

关键词 可持续发展 评价模型 资源核算 种植方式 生产力

Research on Evaluation Model for Sustainable Use of Farmland in Soil Erosion Area Zhang Renwu et al (Agro-Environmental Protection Institute of China, TIANJIN 300191); *Rural Eco-Environment*, 1998, 14(1): 1-5, 20

Abstract Based on the results of research on the effects of cropping patterns on soil productivity and soil environmental of cropping patterns on soil productivity and soil environmental quality in soil erosion areas, resource accounting and simulation modelling methods were used for discussing the evaluation models of different cropping patterns for sustainable farmland use. The results of case study in Wenxi County of Shanxi Province showed that the evaluation models are feasible and successful for continuous evaluation of agriculture.

Key words cropping pattern, resource accounting, simulation modelling, continuous evaluation

近年来, 国内外不少学者专家都试图探索不同生产模式与土壤侵蚀对土壤生产力的影响。通过对三者关系的研究, 探索水土流失严重地区农业可持续发展的优化生产模式。1984年美国农业部提出了土壤侵蚀与生产力关系的计算模型, 模拟不同的农业生产实践对土壤侵蚀的影响, 并取得实际应用的成果。中国科学院西北水土保持研究所等单位的许多专家学者也做了大量的研究工作^[1~3]。本文依据在山西省闻喜县生态农业建设的实践及定点定位观测数据, 运用系统工程方法, 研究不同农业种植方式的评价模型及水土资源估价方法, 力图通过模拟土壤侵蚀、作物生产、养分循环及其相关过程, 预测各种种植方式在连续 30 a 后的环境影响与经济效益, 探求适宜当地生态经济条件的农业可持续发展模式。

1 研究方法

1.1 模型建立方法^②

本模型依据 EPIC 软件, 结合我国西北黄土高原具体情况建立公式及构成模型。

1.1.1 设计思路

^② ①国家自然科学基金项目(39570131)资助完成

1997-06-02 收稿

农业可持续发展的优化生产模式设计必须依据当地的生态环境条件及资源潜力。为此,模型建立必须将生态环境状况、作物种群配置模式及其相应的耕作技术 3 种因素作为基本驱动变量^[4]。

1.1.2 模型描述

本模型主要由以下 9 个单元组成,其中每个单元的主要指标及基本公式描述如下:

(1) 气候

降雨:采用以下公式进行模拟

$$R_i = \frac{\left[\left[\frac{SND_i - SCF_k}{6.0} \right] \left[\frac{SCF_k + 1}{6.0} \right] \right]^3 - 1}{\frac{SCF_k}{RSDV_k}} + R_k \quad (1)$$

式中, R_i —— 每年第 i 天的降雨量, mm; SND_i —— 第 i 天的正常标准偏差, mm; SCF_k —— 偏移系数; $RSDV_k$ —— 每天降雨标准偏差, mm; R_k —— k 月平均日降雨量, mm; 6.0 —— 校正系数。

温度:

$$SDTMX_k = 0.25(TE_k - T_k); \quad (2)$$

式中, $SDTMX_k$ —— k 月日温度标准偏差, °C; TE_k —— k 月极端温度, °C; T —— k 月日平均温度, °C; 0.25 —— 月极端温度与平均温度之间的标准偏差校正系数。

太阳辐射量:

$$SDRA_k = 0.25(RAMX_k - \overline{RA_k}) \quad (3)$$

式中, $SDRA_k$ —— k 月日太阳辐射量, mJ/m²; $RAMX_k$ —— k 月中最高太阳辐射量, mJ/m²; $\overline{RA_k}$ —— k 月平均日太阳辐射量, mJ/m²。

(2) 水文

径流:

$$Q = \begin{cases} \frac{(R + 0.2S)^2}{R + 0.8S}, & (R > 0.2S) \\ 0, & (R \leq 0.2S) \end{cases} \quad (4)$$

式中, Q —— 日径流量, mm; R —— 日降雨量, mm; S —— 与土壤、土地利用、耕作制度及坡度等相关的土壤保水系数, mm。

渗透:

$$Q_{ei} = (SW_i - FC_i) [1.01 - \exp(-\Delta_i/TT_i)] \quad (5)$$

式中, Q_{ei} —— 土层的渗透率; SW_i —— 土壤最初的含水量; FC_i —— 土壤含水量; TT_i —— 水渗透过土层的时间。

(3) 土壤

降水土壤侵蚀:

$$Y_p = x \cdot K \cdot (CE)(PE)(LS)(ROKF) \quad (6)$$

式中: Y_p —— 降水土壤侵蚀量; x —— 校正系数; K —— 土壤侵蚀效应系数; CE —— 作物管理效应; PE —— 侵蚀控制措施效应; LS —— 土壤坡度效应; $ROKF$ —— 土壤表面粗糙度。

灌溉土壤侵蚀:

$$Y_i = 11.8(Q_i \cdot q_i)^{0.56}(K)(CE)(PE)(LS) \quad (7)$$

式中, Y_i —— 土壤侵蚀量; Q_i —— 灌溉水量; q_i —— 水流速度; 其余同式(6)。

(4) 养分循环 主要模拟氮、磷循环;依据氮、磷循环模拟矿质化肥、灌溉水中或动植物体内

氮、磷养分的转化、作物吸收及转移。

(5) 耕作制度 主要模拟耕作措施对养分在土壤中的混合、作物残茬情况、土壤容重的改变及土壤水分、土壤表面粗糙度等的影响。

(6) 作物与土壤管理 模拟不同的作物管理措施,其中主要包括不同作物的功能特征、种植时间以及收获、化肥、灌溉、人工排水系统、耕作制度、径流控制、石灰的使用与害虫的控制。

(7) 其他 模拟单作、轮作、间作等种植方式对多种农作物、牧草及树木的生长所产生的影响。

(8) 效益分析 包括经济产投比和土壤性状变化预测,并通过贴现方法进行货币价值分析。

1.2 资源折价模型

主要利用土地折旧费法、外部经济损失法、恢复费用法、市场价值法、人力资本法等综合对土地资源损失费用进行货币折算分析^[5]。具体方法如下:

1.2.1 农田内部损失

(1) 由于侵蚀等引起的农田产量损失(SDA)可用公式(8)进行计算:

$$SDA = \frac{Y_0 - Y_n}{n/RL} \times P_c \times \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \quad (8)$$

式中, Y_0 ——土地最初产量; Y_n ——土地最终产量; RL ——轮作期; n ——考察期; P_c ——作物价格; i ——实际利率。

(2) 因水土流失造成的农田系统内的外部投入损失

不同的技术措施或不同的投入方式均会引起土壤流失量的不同,使外部投入的物质如化肥等流失的量亦不同。

本文按 1993 年的市场化肥价格(纯氮为 2500 元/t, P_2O_5 为 2700 元/t),利用公式(9)进行现值计算:

$$NRA = \frac{(C_0 - C_n)}{n/RL} \times Q_0 \times P_c \times \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} + C_n \times \Delta Q \times P_c \times \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \quad (9)$$

式中, NRA ——养分流失折旧费; C_0 ——最初养分浓度; C_n ——最终养分浓度; n ——考察期; RL ——轮作期; P_c ——养分价格; i ——实际利率; Q_0 ——耕作层土壤重量; ΔQ ——年平均流失土壤重量。

1.2.2 农田外部损失

水土流失还可导致农业冲刷物产生的地表水再利用损失、航海损失以及河流、水库的泥沙淤积,对其他生物的负面影响(如河流、湖泊、海洋富营养化),还可能是加剧水灾等的一个因素。尽管这些损失比农田损失更大,但由于资料难以收集,只能依据流失的土壤造成水库泥沙淤积后,为恢复使用而支付的费用计算外部损失。用下列公式进行贴现值计算:

$$OEC = P_c \times \Delta Q \times \frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \quad (10)$$

式中, OEC ——农田外部损失价格; P_c ——每工日价格(按清淤 1 m^3 一个工影子价 15 元计算); ΔQ ——年水土流失量; i ——实际利率; n ——考察期。

2 研究结果

2.1 山西省闻喜县简介

山西省闻喜县^[6]位于山西省运城地区东北部,境内有三山三岭两川,3688 个磨盘岭星罗棋布,2600 条沟壑陡峭纵横,地貌复杂,地形破碎,植被破坏严重,属典型的黄土丘陵阶地地貌。

本区年平均温度在 12.6°C 左右,全年 10°C 以上积温 4238°C ,历年平均降雨量 517.0 mm ,降雨

量年际与年内分配极为不均匀,年际间降水变化大,最多年份相当于平均降雨量的 1.95 倍,而最少年份只相当于平均降雨量的 23%;7~9 月份降雨要占全年降雨量的 70%以上,降雨集中且多为暴雨;无雨持续时间长,故易发生旱灾。由于该区土壤颗粒组成较粗糙,而且疏松无结构,保水保肥抗冲抗蚀力差,在雨量较大的情况下,土体迅速崩解,土粒分散,造成较严重的水土流失。

2.2 结果与分析

(1) 在梯田中几乎没有水土侵蚀发生,各种种植制度均对水土侵蚀影响不大。坡地单作玉米水土侵蚀最为严重;在坡度为 5° 的坡地上,小麦单作时,其水土侵蚀只有玉米单作的 33.3%,而小麦-玉米轮作是玉米单作的 21.6%(见表 1)。因此,在坡地中选用合适的种植方式,可以起到一定的保水土作用。在不同坡地上,不同种植方式的水土侵蚀研究表明,坡度对水土侵蚀的影响远比不同种植方式的影响大。据此认为,低坡耕地的改造重点应放在修造梯田上;高坡耕地修筑梯田投工过大,成本高,重点应放在退耕植树种草为好。

表 1 山西省闻喜县不同种植方式在不同坡度下的年侵蚀模数(t/km^2)

Table 1 Annual water erosion moduli of different cropping patterns with different slopes

种植方式	梯田	坡地			
		5°	10°	15°	20°
小麦单作	1	303	2015	3617	41910
玉米单作	5	910	5836	—	—
小麦-玉米轮作	0	197	—	—	—

(2) 在坡耕地上单种玉米时,对土壤的物理性状影响最大,特别是土壤孔隙度的减少及土壤容重增大最为明显。而小麦、小麦-玉米轮作则影响相对较小。同一种种植方式下,随着坡度的增加,土壤物理性状变化增大;对土壤化学性状也有影响,其中 pH 随坡度加大而有所增加,土壤阳离子交换量相对减少;从土壤养分看,土壤可供植物利用的有效水、土壤有机氮均在减少,其程度与坡度有关(表 2)。

表 2 不同耕作方式 30 a 后对土壤性状的影响

Table 2 The effects of thirty years cropping with different cropping patterns on soil properties

指标	初始	梯田			坡地				
					5°			10°	
		小麦	玉米	小麦-玉米	小麦	玉米	小麦-玉米	小麦	玉米
孔隙度 (m^3/m^3)	0.529	0.529	0.529	0.529	0.52	0.511	0.519	0.507	0.486
土壤容重 (t/m^3)	1.34	1.34	1.34	1.34	1.36	1.39	1.36	1.39	1.39
土壤有效水分 (m^3/m^3)	0.136	0.136	0.136	0.135	0.132	0.124	0.129	0.123	0.119
阳离子交换量 ($cmol(+)/kg$)	30.18	30.18	30.18	30.18	29.85	29.3	29.56	29.13	28.3
有机氮 (mg/kg)	1479	1105	1156	1127	989	926	988	812	517.4
有机碳 (g/kg)	14.6	10.9	11.6	11.1	9.7	9.1	9.7	7.6	4.5
pH	8.0	8.0	8.0	8.0	8.1	8.1	8.1	8.2	8.5

(3) 半干旱农作区如果没有人工灌溉工程系统,作物产量随着坡度增大而减少,显然这是由于坡度加大土壤径流造成的(表 3)。

表 3 不同种植方式对农作物产量的影响(t/hm^2)

Table 3 The effects of different cropping patterns on crop yields

种植方式	年限	项目	坡地		
			0°	5°	10°
小麦	前 5 a	产量	3.20	3.00	2.61
		作物量	7.66	7.25	6.80
	后 5 a	产量	3.20	2.10	2.00
		作物量	7.63	5.82	5.70
玉米	前 5 a	产量	3.20	2.00	1.90
		作物量	5.80	5.50	5.33
	后 5 a	产量	2.20	1.40	1.40
		作物量	5.71	4.06	4.31
小麦-玉米	前 5 a	产量	1.80	1.30	
		作物量	4.94	4.74	
	后 5 a	产量	1.70	1.00	
		作物量	4.93	3.88	
小麦-玉米, 小麦, 玉米	前 5 a	产量	1.80	1.30	
		作物量	4.93	4.74	
	后 5 a	产量	1.70	1.00	
		作物量	4.93	3.88	
小麦-玉米, 玉米, 小麦	前 5 a	产量	2.90	1.90	
		作物量	6.79	5.39	
	后 5 a	产量	2.80	1.50	
		作物量	6.56	4.99	

(4) 由于我国的现行体制没有将资源环境损失与个人利益挂钩, 无论采用哪种种植方式, 均可获得收益, 这是因为没有考虑其外部损失。其中以梯田上小麦-玉米轮作收入最高, 坡地种植小麦收入也高(表 4)。表 5 给出了考虑资源环境成本时 30 a 所获得收益的贴现值, 结果表明, 当将资源环境的损失计算在内时, 即便在 5°坡地上种植玉米也呈负收入, 即在坡地上种植玉米对社会来说是不可行的, 在 10°坡地上种植小麦或单种玉米则得到更为严重的负收入结果。因此, 在水土流失严重地区的农业生产模式应当调整, 以使耕地利用的可持续性增加。

表 4 不同技术下计算潜在收入(元/ hm^2)

Table 4 Potential income of farmland with different cropping patterns

项目	梯田	5°坡地	10°坡地
小麦	1608.86	1508.03	1312.23
玉米	867.28	754.15	716.45
小麦-玉米	2136.77	1445.46	-

表 5 考虑资源环境成本时所获收益的贴现值(元/ hm^2)

Table 5 Discount values resulted of different cropping patterns (taking resource cost into consideration)

项目	梯田	5°坡地	10°坡地
小麦	1607.19	556.74	-2229.33
玉米	821.18	-957.61	-8436.48
小麦-玉米	2048.78	806.80	-

(下转第20页)

表2 巷子口-汾山区域治理前后荒漠化面积对比
Table 2 Comparison of desertified land acreages in Xiangzi-kou-Weishan before and after controlled

程度	治理前		治理后	
	面积 (hm^2)	占区域面积 %	面积 (hm^2)	占区域面积 %
轻度	119.81	7.29	21.03	1.28
中度	72.58	4.42	0.37	0.02
强度	22.05	1.34	0.75	0.05
合计	214.44	13.05	22.15	1.35

林草地;野鸡、鸦鹊等鸟类以及蜜蜂等有益昆虫也大大增加。

通过治理,增加了蓄水,改善了农业生产条件,水旱灾害明显减轻,作物产量提高较快。巷

子口镇水稻产量由1980年前后的 $6000 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 提高到1995年的 $13800 \text{ kg}/\text{hm}^2$,提高了130%。同时通过治理与开发相结合,村民收入大幅度增长,巷子口镇村民人均收入由1980年的165元增加到1995年的1149元,增长5.96倍,年增长13.8%。

参考文献

- 1 朱震达,吴焕忠,崔书红. 中国土地荒漠化/土地退化的防治与环境保护. 农村生态环境,1996,(3):1-4
- 2 张更生,曹学章. 红壤丘陵脆弱生态环境综合整治战略研究初探. 见:赵桂久等主编. 生态环境综合整治和恢复技术研究. 北京:北京科学技术出版社,1993. 162

(上接第5页)

3 讨论

(1) 研究表明,土壤流失给农业带来的损失远没有给非农业带来的损失大。但事实上,农民只考虑农业收入,而并不考虑其所采用技术及各种种植方式所带来的非农业损失。因此,在制定政策时,应当将非农业损失计算在内,促使其采用水土保持较为合理的种植制度或建立水保措施。

(2) 土壤折旧贴现度量方法表明,技术的进步往往会掩盖土壤退化对产量的影响,因此土壤折旧费计算结果与实际产量同潜在产量间的差异有关,与产量自身的趋势无关。若土壤质量提高,土壤折旧费可能为负值。此外,土壤贴现折旧损失的比较必需用于起始土壤性状相同的土地田块,这是由于初始土壤性状不同的田块,采用不同的种植方式及技术措施,导致土壤性状变化不同。

参考文献

- 1 姜永清,等. 陕北河流月径流和月输沙集中特性初步研究. 水土保持通报,1994,(4):19-27
- 2 刘勇,等. 黄河中游水保措施保存面积的核实初探. 水土保持通报,1994,(4):39-42
- 3 侯庆春,等. 晋陕蒙接壤区水蚀风蚀交错带生态环境特征. 水土保持通报,1994,(2):8-15
- 4 Sharplay A N et al. EPIC-Erosion/Productivity. Documentation: 1 model Documention. 1990
- 5 Poul Faeth, Robert Repetto et al. Paying the Farm Bill: US Agricultural Policy and the Transition to Sustainable Agriculture. World Resources Institute. Washington, 1993
- 6 张壬午主编. 县级生态农业建设方法. 北京:中国科技出版社,1992
- 7 袁德法. 山区生态经济建设效益评价的研究. 生态经济,1996,(6):32-35

作者简介:张壬午,男,1942年2月生,现任农业部环境保护研究所生态室主任,中国科学院生态环境研究中心客座研究员,中国农业大学客座教授,先后从事生态毒理学、污染生态学及农业生态学研究;近10年来对生态工程、生态农业、农业持续发展、农村能源综合建设的理论与技术体系进行研究,已在国内外发表论文180篇。