

基于农户认知的保护性耕作模式 产量效应模糊数学分析

汤秋香^{1,2}, 谢瑞芝¹, 李少昆^{1,*}, 马 林², 林 涛³, 石书兵², 高世菊¹, 刘国庆¹,
胡震斌¹, 牛兴奎¹

(1. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; 2. 新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052;
3. 新疆农业科学院经济作物研究所, 乌鲁木齐 830000)

摘要: 为了从产量角度评价不同生态区主体保护性耕作模式, 以东北平原、华北平原、成都平原、西北绿洲区不同耕作模式为研究对象。经过专家咨询和相关文献分析, 筛选确定 7 个因素作为保护性耕作影响产量的指标集, 通过农户一对一调查, 将农户对影响产量因素的认知作为基础数据, 运用模糊综合评价方法对不同生态区主体保护性耕作模式进行评价。结果显示: 不同生态区得分最高的模式分别为东北平原宽窄行留高茬交替休闲种植模式; 华北平原上茬玉米秸秆还田 + 旋耕播种小麦, 下茬小麦秸秆还田 + 免耕直播玉米模式; 西北绿洲留高茬免耕直播模式; 成都平原小麦或油菜或马铃薯等免耕 + 稻草覆盖模式。为选择各地具有产量优势的保护性耕作模式提供参考。

关键词: 保护性耕作模式; 农户认知; 产量效应; 模糊数学

文章编号: 1000-0933(2009)08-4260-07 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Fuzzy mathematical analysis of conservation tillage effect on yield based on Farmer Cognition

TANG Qiu-Xiang^{1,2}, XIE Rui-Zhi¹, LI Shao-Kun^{1,*}, MA Lin², LIN Tao³, SHI Shu-Bing², GAO Shi-Ju¹, LIU Guo-Qing¹, HU Zhen-Bin¹, NIU Xing-Kui¹

1 Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

2 Xinjiang University of Agriculture, Wulumuqi 830052, China

3 Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Wulumuqi 830000, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4260 ~ 4266.

Abstract: To evaluate effects of main conservation tillage methods on yield in various ecological regions. We analysed farmer cognitions of factors influencing yield under the main conservation tillage methods by interviewing peasant households in the Northeast China plain, North China plain, Chengdu plain and Northwest China oasis. The indexing set was determined from 7 yield parameters based on expert consultation and relevant literature. A comprehensive evaluation of conservation tillage methods in the various ecological regions was done using the fuzzy theory. The highest score of conservation tillage modes were wide and narrow spaced rotation planting that leaves a high stubble in the Northeast China plain, rotary tilled seeding of wheat under the bestrow of corn stalks and no-tillage seeding of corn and other crops under the bestrow of whole wheat stalks in the North China plain, no tillage with return of the high stubble in the Northwest China oasis and no-tillage seeding of wheat and other crops under the bestrow of whole rice stalks in Chengdu plain. These research data should be a useful guide for the selection of conservation tillage method for optimum yield effect.

基金项目: 国家科技支撑计划项目资助(2006BA15B03)

收稿日期: 2008-05-22; 修订日期: 2009-03-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lishk@mail.caas.net.cn

Key Words: conservation tillage mode; farmer cognition; yield effect; fuzzy mathematics

保护性耕作技术是我国生态建设和实施农业可持续发展战略的重要组成部分和必然选择。我国自 20 世纪 70 年代末开始引进、试验、示范和推广少、免耕等保护性耕作技术,先后在全国不同生态类型区进行了多方面的研究,许多成果还在生产上得到了推广应用,取得了明显的生态、经济和社会效益,但各地在推广保护性耕作技术过程中也反映出机具不配套、耕作质量不高、播种质量差、保苗率低、作物生长发育受阻、病虫草害发生严重、栽培管理技术不完善、作物产量不稳定、经济效益不高等方面的问题,制约着保护性耕作技术的健康发展^[1~11]。面对我国国情,产量效应仍是影响保护性耕作推广的主要因素。因此,针对不同生态区从产量角度评价主体保护性耕作模式十分必要。模糊综合评价在农业和农业生态系统的可持续发展方面已做了大量的研究,大多在较大尺度上进行^[12~15]。运用多级模糊综合评判模型及改进的标准赋权与层次分析相结合的权重确定方法,王丽梅等人对黄土高原沟壑区果农型农业生态系统的单要素环境质量和总体环境质量进行了评价^[16];李洪泽等人对生态农业综合效益进行了评价^[17];刘灶长等人对红壤多熟耕作制度综合效益进行了评价^[18];李向东等人对四川稻田保护性耕作制可持续性进行了评价^[19];本文拟采用该方法对我国典型生态区主体保护性耕作模式进行分析,以评价优选出各地区产量效应表现最好的保护性耕作模式,为保护性耕作技术的推广提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 数据采集

2007 年 5 月~10 月,在分属东北平原、华北平原、成都平原、西北绿洲 4 个典型生态区的保护性耕作重点示范推广区域开展调研,其中包括东北平原的吉林省桦甸市、四平市、公主岭市、松原市和白城市,华北平原的河北省栾城县,成都平原的四川省广汉市和简阳市,西北绿洲区的新疆石河子市、喀什市、玛纳斯县、奇台县、吉木萨尔县、和田县、洛浦县和墨玉县,甘肃省武威市凉州区和民勤县,共计 18 个县(区、市)68 个乡镇。采用随机抽样的方式,开展一对一形式的入户问卷调查^[20,21],共获得 666 户的有效数据,其中东北平原 302 户,华北平原 81 户,成都平原 97 户,西北绿洲区 186 户。

4 个典型生态区主要有 11 种主体保护性耕作模式,包括东北平原的破茬合垄、留茬垄侧播种、宽窄行留高茬交替休闲种植;华北平原的玉米秸秆还田+旋耕播种小麦、玉米秸秆还田+免耕直播玉米、玉米秸秆还田+免耕播种小麦;成都平原的小麦或油菜或马铃薯等免耕+稻草覆草、免耕直播玉米或小麦等作物;西北绿洲区的留高茬免耕直播、苗带旋耕、免耕直播小麦或玉米。经过专家咨询及相关文献分析,筛选出不同生态区保护性耕作实施后对作物产量影响的 7 个主要因素,作为保护性耕作产量效应指标集,包括土壤墒情、播种质量、作物长势、病虫害、草害、土壤肥力和保苗率,并分别表示为 B1、B2、B3、B4、B5、B6、B7,即 B1 表示具有保墒效果、B2 表示影响播种质量、B3 作物长势差、B4 病虫害加重、B5 草害加重、B6 增加土壤肥力、B7 保苗率低。

1.2 模糊综合评价方法

模糊综合评价有效的解决了客观事物的差异在中间过渡中的不明确性。对不同保护性耕作模式的模糊综合评价可以分为 4 个步骤:(1)依据所调研的 4 个典型生态区的主体保护性耕作模式的农户问卷选择率,建立单个因子的评判矩阵 R,得出隶属度模型;(2)确定各因子的权重系数的分配方案;(3)计算单个因子的模糊得分;(4)计算同一处理中不同性状因子的模糊综合得分;其中隶属度函数、权重系数分配方案的确定是模糊综合评价的重点,权重系数的确定是评价的关键。

对于不同影响产量因素的指标可以看出,指标的隶属度函数可分为两种类型:(1)越大越优型;(2)越小越优型。

越大越优型

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

越小越优型

$$Y_{ij} = \frac{X_{imax} - X_{ij}}{X_{imax} - X_{imin}} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

公式(1)、(2)中 X_{ij} 表示第 j 处理第 i 性状值; X_{imax} 和 X_{imin} 分别表示处理第 i 性状集合中最大值和最小值; Y_{ij} 表示第 j 处理第 i 性状值对于最大值 X_{imax} 的隶属度。

综合得分:

$$P(A_j) = \sum_{i=1}^n A(Y_{ij}) P_i \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

公式(3) P_i 表示该指标所赋予的权重系数, $\sum A(Y_{ij})$ 为隶属度函数。

1.3 均方差法确定权重

一般地,根据原始数据的不同来源,确定指标权重的方法大体上分为主观赋权法和客观赋权法两类。主观赋权法主要是由专家根据经验主观判断而获得,如古林法、Delphi 法、AHP 法等,这种方法较为成熟,但客观性较差。客观赋权法是根据原始数据运用统计方法计算获得,不依赖于人的主观判断,其客观性较强,如离差法、均方差法、主成分分析法等^[22]。本研究采用精度较高的均方差法确定指标权重,具体方法如下:先求出隶属度函数 Y_{ij} 构成的随机变量的均方差,然后将这些均方差归一化,其结果即为各指标的权重系数。

求随机变量的均值 $E(I_j)$:

$$E(I_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{ij} \quad (4)$$

求 I_j 的均方差 $Q(I_j)$:

$$Q(I_j) = \left\{ \sum_{i=1}^n [Y_{ij} - E(I_j)]^2 \right\}^{0.5} \quad (5)$$

指标 I_j 的权重系数 W_j :

$$W_i = Q(I_j) / \sum_{j=1}^m Q(I_j) \quad (6)$$

2 结果与分析

2.1 不同保护性耕作模式影响产量因素的农户选择率及隶属度函数

该原始数据是以区域为单位求出一个区域各项指标的农户选择百分比,然后求其平均值。由表 1 知,同种耕作模式下,对产量影响因素的不同指标之间农户认知存在明显差异,而相同指标在不同耕作模式下也存在明显差异。总体分析,农户认为大部分保护性耕作模式具有保墒效果(B1);影响播种质量(B2)主要体现在西北绿洲区的耕作模式中;作物长势差(B3)在西北绿洲区和成都平原部分耕作模式中较明显;病虫害加重(B4)在西北绿洲区的部分耕作模式中表现较突出;草害加重(B5)表现在西北绿洲区和成都平原的部分耕作模式中;增加土壤肥力(B6)则主要体现在成都平原秸秆还田较多的耕作模式中;保苗率低(B7)在华北平原和西北绿洲区的部分耕作模式中有所表现。

以表 1 中的原始数据为基础数据,按照公式(1)、公式(2)计算出不同耕作模式下各指标的隶属度函数。其中 B1(具有保墒效果)、B6(增加土壤肥力)为越大越优型,而 B2(影响播种质量)、B3(作物长势差)、B4(病虫害加重)、B5(草害加重)、B7(保苗率低)为越小越优型。

2.2 运用均方差法求权重

运用公式(4)、(5)、(6)得出各指标的权重(如表 3),农户认为在不同保护性耕作模式下,影响产量的 7 个因素中,具有保墒效果(B1)的权重最大,其次为增加土壤肥力(B6),排在第三的是病虫害加重(B4),保苗率低(B7)、草害加重(B5)、作物长势差(B3)分别排在第四、五、六位,而权重最小的为影响播种质量(B2)。说明在农户的认知中,不同生态区主体保护性耕作模式下,对产量影响最具普遍性的因素是实施保护性耕作后具有保墒效果,而对播种质量的影响仅主要在西北绿洲区模式中较为突出。

表 1 不同耕作模式下影响产量因素农户选择率(%)

Table 1 Farmers selection rate of influence yield factors in different cultivated models								
区域 Regions	保护性耕作模式 Conservation tillage modes	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
东北平原 The Northeast China plain	破茬合垄 Cutting stubble combine ridge	94.0	0.0	5.0	18.0	17.0	0.0	7.0
	留茬垄侧播种 Sowing on ridge side and returning stubble	92.0	0.0	0.0	18.0	7.0	0.0	0.0
	宽窄行留高茬交替休闲种植 Wide and narrow spacing rotation planting of leaving high stubble	100.0	0.0	0.0	13.0	7.0	0.0	7.0
华北平原 The North China plain	玉米秸秆还田+旋耕播种小麦 Returning field of corn Straw + sowing wheat under rotary tillage	30.0	8.0	3.0	38.0	26.0	25.0	13.0
	小麦秸秆还田+免耕直播玉米 Returning field of wheat straw + sowing corn under no tillage	30.0	8.0	3.0	38.0	26.0	25.0	13.0
	玉米秸秆还田+免耕种植小麦 Returning field of corn straw + sowing wheat under no tillage	0.0	0.0	0.0	33.0	50.0	0.0	50.0
西北绿洲 The Northwest China oasis	留高茬免耕直播 No tillage of returning the high stubble	60.0	30.0	28.0	0.0	35.0	3.0	36.0
	苗带旋耕 Rotary tillage in seeding belt	38.3	25.0	40.0	78.3	53.3	0.0	10.0
	免耕直播小麦或玉米 Sowing wheat or corn under no tillage	15.0	29.0	8.0	46.0	65.0	0.0	54.0
成都平原 The Chengdu Plain	小麦或油菜或马铃薯等免耕+稻草覆盖 Sowing wheat or rape or potato under no tillage + returning field of rice Straw	77.0	11.0	24.0	24.0	31.0	68.0	24.0
	免耕直播玉米或小麦等作物 Sowing corn or wheat etc under no tillage	61.3	5.0	15.0	56.7	63.8	47.9	0.0
平均 Average		54.3	10.5	11.5	33.0	34.6	15.4	19.5

表 2 不同模式下影响产量因素农户选择率隶属度函数值

Table 2 Subjection degrees function value of farmers selection rate of influence production factors in different cultivated models								
区域 Regions	保护性耕作模式 Conservation tillage modes	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
东北平原 The Northeast Chinaplain	破茬合垄 Cutting stubble combine ridge	0.939	1.000	0.946	0.822	0.827	0.000	0.930
	留茬垄侧播种 Sowing on ridge side and returning stubble	0.917	1.000	1.000	0.822	0.933	0.000	1.000
	宽窄行留高茬交替休闲种植 Wide and narrow spacing rotation planting of leaving high stubble	1.000	1.000	1.000	0.867	0.933	0.000	0.933
华北平原 The North China plain	玉米秸秆还田+旋耕播种小麦 Returning field of corn Straw + sowing wheat under rotary tillage	0.298	0.925	0.966	0.619	0.740	0.253	0.865
	小麦秸秆还田+免耕直播玉米 Returning field of wheat straw + sowing corn under no tillage	0.298	0.925	0.966	0.619	0.740	0.253	0.865
	玉米秸秆还田+免耕种植小麦 Returning field of corn straw + sowing wheat under no tillage	0.000	1.000	1.000	0.667	0.500	0.000	0.500
西北绿洲 The Northwest China oasis	留高茬免耕直播 No tillage of returning the high stubble	0.604	0.702	0.722	1.000	0.653	0.028	0.639
	苗带旋耕 Rotary tillage in seeding belt	0.383	0.750	0.600	0.217	0.467	0.000	0.900
	免耕直播小麦或玉米 Sowing wheat or corn under no tillage	0.146	0.708	0.917	0.542	0.350	0.000	0.458
成都平原 The Chengdu Plain	小麦或油菜或马铃薯等免耕+稻草覆盖 Sowing wheat or rape or potato under no tillage + returning field of rice Straw	0.769	0.890	0.763	0.762	0.691	0.680	0.760
	免耕直播玉米或小麦等作物 Sowing corn or wheat etc under no tillage	0.613	0.950	0.850	0.434	0.363	0.479	1.000

表 3 保护性耕作条件下影响产量的各指标权重

Table 3 Every index weight of effect yield in conservation tillage

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
0.2348	0.0821	0.0927	0.1516	0.1440	0.1629	0.1319

2.3 保护性耕作模式模糊综合评价结果

运用公式(3)得到模糊综合评价的结果。如表 4 所示,不同地区各种保护性耕作模式模糊综合评价结果存在明显差异。

东北平原以宽窄行留高茬交替休闲种植模式得分最高为 0.798;华北平原以上茬秸秆还田 + 旋耕播种小麦,下茬小麦秸秆还田 + 免耕直播玉米模式得分最高为 0.591;西北绿洲以留高茬免耕直播得分最高为 0.601;而成都平原得分最高的是小麦或油菜或马铃薯等免耕 + 稻草覆盖,为 0.750。说明农户认为上述保护性耕作模式的产量效应较好,认可度较高。

表 4 模糊综合评价结果

Table 4 The results of fuzzy comprehensive evaluation

区域 Regions	保护性耕作模式 Conservation tillage modes	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	评价结果 Result
东北平原 The Northeast China plain	破茬合垄 Cutting stubble combine ridge	0.220	0.082	0.088	0.125	0.119	0.000	0.123	0.757
	留茬垄侧播种 Sowing on ridge side and returning stubble	0.215	0.082	0.093	0.125	0.134	0.000	0.132	0.781
	宽窄行留高茬交替休闲种植 Wide and narrow spacing rotation planting of leaving high stubble	0.235	0.082	0.093	0.131	0.134	0.000	0.123	0.798
华北平原 The North China plain	玉米秸秆还田 + 旋耕播种小麦 Returning field of corn Straw + sowing wheat under rotary tillage	0.070	0.076	0.090	0.094	0.107	0.041	0.114	0.591
	小麦秸秆还田 + 免耕直播玉米 Returning field of wheat straw + sowing corn under no tillage	0.070	0.076	0.090	0.094	0.107	0.041	0.114	0.591
	玉米秸秆还田 + 免耕种植小麦 Returning field of corn straw + sowing wheat under no tillage	0.000	0.082	0.093	0.101	0.072	0.000	0.066	0.414
西北绿洲 The Northwest China oasis	留高茬免耕直播 No tillage of returning the high stubble	0.142	0.058	0.067	0.152	0.094	0.005	0.084	0.601
	苗带旋耕 Rotary tillage in seeding belt	0.090	0.062	0.056	0.033	0.067	0.000	0.119	0.426
	免耕直播小麦或玉米 Sowing wheat or corn under no tillage	0.034	0.058	0.085	0.082	0.050	0.000	0.060	0.370
成都平原 The Chengdu Plain	小麦或油菜或马铃薯等免耕 + 稻草覆盖 Sowing wheat or rape or potato under no tillage + returning field of rice Straw	0.181	0.073	0.071	0.116	0.099	0.111	0.100	0.750
	免耕直播玉米或小麦等作物 Sowing corn or wheat etc under no tillage	0.144	0.078	0.079	0.066	0.052	0.078	0.132	0.629

3 讨论与结论

3.1 模糊综合评价的结果是一个集合,而不是一个点值,它较为准确地刻画了事物本身的模糊状况,因此模糊综合评判结果在信息的质和量上都具有优越性。适用于定性指标的定量评价,应用范围更广,人们对定性指标属于某一等级的判断往往很难用数字表示,只能用“很好”、“较好”、“较差”、“很差”等模糊概念来表示。应用模糊综合评价可以较好地解决定性指标的定量化问题。因此,模糊综合评价既可用于主观指标的综合评价,又可用于客观指标的综合评价^[27~30]。本文采用模糊数学方法进行综合评判,也克服了传统综合评分中的主观偏差和其他评价方法中量纲难以统一的不足,将各指标进行无单位的量纲统一,并把评判结果有机地结合在一起进行比较,对保护性耕作技术这种影响因素较多的评价对象更为有效。

3.2 在本文的模糊综合评价结果中,不同生态区产量效应最好的保护性耕作模式分别为:东北平原宽窄行留高茬交替休闲种植;华北平原上茬秸秆还田 + 旋耕播种小麦,下茬小麦秸秆还田 + 免耕直播玉米;西北绿洲留

高茬免耕直播;成都平原小麦或油菜或马铃薯等免耕+稻草覆盖。

比较前人的研究结果可以发现,本研究评价较高的保护性耕作模式均有理想的理论支持:刘武仁等人的东北平原玉米宽窄行种植研究认为,玉米宽窄行种植可促进生长发育,根系数量增多,叶面积大,干物重增加,培肥地力,提高玉米产量^[23];在汤永禄等人的成都平原研究结果表明,稻茬麦实行免耕抑播稻草覆盖栽培具有显著的增产、增收效应,对后作水稻也有明显的增产作用,一般增产 3%~6%^[24]。在石书兵等人针对西北绿洲区保护性耕作实施效果的分析也表明,在干旱地区采用免耕留茬可有效保持土壤中的水分,有利于干旱地区作物的生长发育和产量的提高,为干旱地区作物节水高产创造条件^[25];周兴祥等人认为,华北平原一年两熟保护性耕作以免耕加覆盖为主的保护性耕作体系较传统耕作增产效果明显^[26]。本文基于农户认知的模糊数学综合评价结果与前人相关研究结果和生产实际相符,基本反应了不同保护性耕作模式的实际情况。

3.3 农户是技术采用的主体,农户对保护性耕作技术的认知是关系到这项技术能否大面积推广的前提。本文进行分析的数据基础是农户对保护性耕作产量效应的认知,研究的部分结果与现实情况存在一定的差异,如在华北平原,播种质量差、保苗率低、作物生长发育受影响等因素是该地区小麦保护性耕作技术推广应用的主要限制因素,但本研究评价结果则是影响权重较低,主要原因是由于调查范围广、调查数据多,并且评价的对象是典型区域中的多个种植模式,该影响因素被稀释。

3.4 研究发现,在评价过程中,调查问卷的设计、调查数据的代表性对评价效果影响很大;而分析过程中评价指标选择、指标体系的构建及评价模型运用的差异,也都使研究结果产生偏差。由于生态条件和生产水平的限制,保护性耕作模式的评价结果只能在相同的区域进行比较,其综合评价结果也受到很大的限制。对量化评价保护性耕作技术还需深入研究。

References:

- [1] Zhang H L, Gao W S, Chen F, Zhu W S. Prospects and present situation of conservation tillage. *J China Agric Univ*, 2005, 10 (1): 16—20.
- [2] Shi J L, Liu J Z, Wu F Q. Research advances and comments on conservation tillage. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(3): 205—212.
- [3] Xie R Z, Li S K, Li X J, Jin Y Z, Wang K R, Chu Z D, Gao S J. The analysis of conservation tillage in China — conservation tillage and crop production: Reviewing the Evidence. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(9): 1914—1924.
- [4] Sijtsma C H, Campbell A J, McLaughlin N B. Comparative tillage costs for crop rotation utilizing minimum tillage on a farm scale. *Soil & Tillage Research*, 1998, 49: 223—231.
- [5] Huang G K, Rozelle S. 1995. Environmental stress and grain yields in China. *Am J Agric Econ*, 77: 853—864.
- [6] Hussain I, Olson K R, Ebelhar S A. Impacts of tillage and no-till on production of maize and soybean on an eroded Illinois siltloam soil. *Soil & Tillage Research*, 1999, 52: 37—49.
- [7] Lampuranes J, Angus P, Cantero-Martinez C. Root growth, soil water content and yield of barley under different tillage systems on two soils in semiarid conditions. *Field Crops Research*, 2001, 69: 27—40.
- [8] Mahdi M, Al -Kaise, Yin X H. Stepwise time response of corn yield and economic return to no tillage. *Soil & Tillage Research*, 2004, 78: 91—101.
- [9] Kelly T C, Yao Chilu, Teasdale J. Economic-environment tradeoffs among alternative crops rotations. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 1996, 60: 17—28.
- [10] Aon M A, Sarena D E, Burgos J L. Microbiological, Chemical and physical properties of soils subjected to conventional or no-till management: an assessment of their quality status. *Soil & Tillage Research*, 2001, 60: 173—186.
- [11] Dick W A, McCoy E L, Edwards W M. Continuous application of no-tillage to Ohio soils. *Agron J*, 1991, 83: 65—73.
- [12] Xie D T, Wei C F, Yang J H. Paddyfield ecosystem under natural zero-tillage. *Chin J Appl Ecol*, 1994, 5(4): 415—421.
- [13] Hansen J W, Jones J W. A system framework for characterizing farm sustainability. *Agric Syst*, 1996, 51: 185—201.
- [14] Wang F, Wu J J, Lu J B. A ration study on evaluation of sustainability agro-eco overseas. *World Agric*, 2002, 238 (11): 47—49.
- [15] Chen F X, Zhang Z J. Review on eco-agricultural assessment. *Chin J Eco-Agric*, 2001, 9 (4): 104—106.
- [16] Wang L M, Meng F P, Zheng J Y, Wang Z L. Environmental quality assessment of regional agro-ecosystem in Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, Mar., 2004, 15(3): 425—428.

- [17] Li H Z, Zhu K L. Ecological agriculture comprehensive efficiency evaluation index system and assessment method. *China Forestry Economy*, 2007, 86(5):19—38.
- [18] Liu Z C, Zhong S F. APH and fuzzy comprehensive evaluation of farming systems. *Acta Agric Univ Jiangxiensis*, 1990, 12(42): 65—72.
- [19] Li X D, Tang Y L, Sui P, Gao W S, Yang S Q, Chen Y Q, Liu D H, Ma Y C. The evaluation on sustainability of paddy field conservation farming system (CFS) in Sichuan Basin, China. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(6): 942—948.
- [20] Li X d, Sui P, Zhang H l, Gao W S, Chen Y Q, Ma Y C. Analysis on farmer awareness of conservation farming system in paddy field in southern China. *Agrosystem System And Systematic Agrosystems*, 2007, 23(2): 190—195.
- [21] Wang C T, Li S K, Han B T. Research on peasant household demand superiority order of the corn produce science and technology. *China Village Economy*, 2005, (special issue): 12—16.
- [22] Dai Q H, Liu G B, Liu P l, Liang Y l, Wu F Q, Liang Z S, Wang J J. Approach to health diagnoses of eco-economic system in mesoscale in loess hilly area. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(5): 990—998.
- [23] Liu W R, Feng Y C, Zheng J Y, Liu F C, Zhu X L, He Z, Li Y, Fei Y, Cao Y. Analysis on yield efficiency of corn about wide alternative narrow row cultivation technique. *Journal of Maize Sciences*, 2003, 11(3): 63—65.
- [24] Tang Y L, Huang G, Yuan L X, Zhao Y T, Wang S H. Studies on the technology of surface seeding & mulching straw for wheat after rice I. Analysis of yield and benefit effect on wheat and subsequent rice. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2002, 15(1): 32—37.
- [25] Shi S B, Ma L, Liu J X, Chen L M. Analysis on implementation effect of conservation tillage in Qitai County. *Soil and Fertilizer*, 2005, 5: 37—38.
- [26] Zhou X X, Gao H W, Liu X F. Experimental study on conservation tillage system in areas of two crops a year in North China plain. *Transactions of the CSAE*, 2001, 17(6): 81—84.
- [27] Hu Yueming, Daijun, Wang Renchao. GIS-based red soil resources classification and evaluation. *Pedosphere*, 1999, 9(2): 131—138.
- [28] Buck L E. Agroforestry policy issues and research directions in the US and less developed countries: insights and challenges from recent experience. *Agroforestry Systems*, 1995, 30(1/2): 57—73.
- [29] Zinkhan F C, Mercer D E. An assessment of agroforestry systems in the southern USA. *Agroforestry Systems*, 1997, 35: 303—321.
- [30] Gene Garrett H E, Louise Buck. Agroforestry practice and policy in the United States of America. *Forestry Ecology and Management*, 1997, 91(1): 5—15.

参考文献:

- [1] 张海林, 高旺盛, 陈阜, 朱文珊. 保护性耕作研究现状、发展趋势及对策. *中国农业大学学报*, 2005, 10(1): 16~20.
- [2] 师江澜, 刘建忠, 吴发启. 保护性耕作研究进展与评述. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(3): 205~212.
- [3] 谢瑞芝, 李少昆, 李小君, 金亚征, 王克如, 初震东, 高世菊. 中国保护性耕作研究分析——保护性耕作与作物生产. *中国农业科学*, 2007, 40(9): 1914~1924.
- [12] 谢德体, 魏朝富, 杨剑虹. 自然免耕下的稻田生态系统. *应用生态学报*, 1994, 5(4): 415~421.
- [14] 王芬, 吴建军, 卢剑波. 国外农业生态系统可持续发展的定量评价研究. *世界农业*, 2002, 238(11): 47~49.
- [15] 陈飞星, 张增杰. 生态农业评价综述. *中国生态农业学报*, 2001, 9(4): 104~106.
- [16] 王丽梅, 孟范平, 郑纪勇, 王忠林. 黄土高原区域农业生态系统环境质量评价. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 425~428.
- [17] 李洪泽, 朱孔来. 生态农业综合效益评价指标体系及评价方法. *中国林业经济*, 2007, 86(5): 19~24.
- [18] 刘灶长, 钟树福. 耕作制度的层次分析和模糊综合评价. *江西农业大学学报*, 1990, 12(42): 65~72.
- [19] 李向东, 汤永禄, 隋鹏, 高旺盛, 杨世琦, 陈源泉, 刘定辉, 马月存. 四川盆地稻田保护性耕作制可持续性评价研究. *作物学报*, 2007, 33(6): 942~948.
- [20] 李向东, 隋鹏, 张海林, 高旺盛, 陈源泉, 马月存. 南方稻田保护性耕作制的农民认知分析. *农业系统科学与综合研究*, 2007, 23(2): 190~195.
- [21] 王崇桃, 李少昆, 韩伯堂. 玉米生产科技农户需求优先序研究. *中国农村经济*, 2005, (专刊): 12~16.
- [22] 戴全厚, 刘国彬, 刘普灵, 梁银丽, 吴发启, 梁宗锁, 王继军. 黄土丘陵区中尺度生态经济系统健康诊断方法探索. *中国农业科学*, 2005, 38(5): 990~998.
- [23] 刘武仁, 冯艳春, 郑金玉, 刘凤成, 朱晓丽, 何志, 李勇, 裴攸, 曹雨. 玉米宽窄行种植产量与效益分析. *玉米科学*, 2003, 11(3): 63~65.
- [24] 汤永禄, 黄钢, 袁礼勋, 赵玉庭, 王少华. 稻茬免耕抑播稻草覆盖栽培技术研究 1. 小麦和后作水稻的增产增收效应分析. *西南农业学报*, 2002, 15(1): 32~37.
- [25] 石书兵, 马林, 刘建喜, 陈乐梅. 奇台县保护性耕作实施效果分析. *土壤肥料*, 2005, 5: 37~38.
- [26] 周兴祥, 高焕文, 刘晓峰. 华北平原一年两熟保护性耕作体系试验研究. *农业工程学报*, 2001, 17(6): 81~84.