

保护性耕作下小麦和豌豆投入产出能值分析

牟丽明¹, 刘军秀¹, 刘慧娟², 蔡立群²

(1. 甘肃定西市农业科学研究院, 甘肃 定西 743000;

2. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 应用能值分析的基本理论和方法, 探讨了传统耕作(T)、免耕(NT)、传统耕作+秸秆还田(TS)、免耕+秸秆覆盖(NTS)、传统耕作+地膜覆盖(TP)、免耕+地膜覆盖(NTP)等不同耕作模式下小麦和豌豆的投入产出能值, 测算了其净能值产出率、能值投入率、宏观经济价值。结果表明: 同一耕作方式下, 种植小麦能值投入大于豌豆, 豌豆能值产出是小麦的 5 倍以上, 且豌豆宏观经济价值远远大于小麦; 不同耕作方式下, 两种作物净能值产出率均为免耕处理大于相应的耕作处理; 由于传统耕作的三种模式人工和机械费用的投入远高于免耕三种模式, 使得耕作处理下能值总投入大于相应的免耕处理; 免耕+秸秆覆盖处理下, 小麦和豌豆净能值产出率和宏观经济价值均达到最大, 分别达到了 0.64、3.93 和 9.26、53.1。说明免耕+秸秆覆盖不仅能够实现节约投入, 而且可以增产增收, 能够达到生态经济效益的最优。

关键词: 保护性耕作; 小麦; 豌豆; 能值投入; 能值产出

中图分类号: S343.1; F304.7 **文献标志码:** A

Emergy analyses of wheat and pea production under conservation tillage

MU Li-ming¹, LIU Jun-xiu¹, LIU Hui-juan², CAI Li-qun²

(1. Gansu Dingxi Academy of Agricultural Sciences, Dingxi, Gansu 743000, China;

2. Resource and Environment Faculty of Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Upon the implementation of multiple cultivation practices on wheat and field pea including traditional farming (T), no-till (NT) and conventional tillage with straw returned (TS), no-till with straw cover (NTS), conventional tillage mulching film (TP), and no-till with plastic film mulching (NTP), emergy theory and method were used to analyze the input and output values of emergy, the net emergy output ratio, the emergy investment ration, and the macro economic values. The results showed that under the same farming and planting practice, the emergy input of wheat was more than that of pea, whereas the emergy output of peawas five times greater than that of the wheat and the macroeconomic value from pea was far bigger than wheat. In addition, under different farming methods, it was found thatthe netemergy output ratios with no-till treatment were greater in both wheat and pea than those with the cultivation treatment. Because the input costs of the human labors and machinery services using three modes of traditional farming was far higher than those using three modes of no-till cultivation, the total emergy input with cultivation was therefore greater than that without. It was further uncovered that under no-till farming with straw mulching treatment, the net emergy outputs and the macroeconomic values of wheat and pea reached their maximums, 0.64, 3.93, 9.26, and 53.1 respectively. The above results indicated that theno-till farming with straw mulching treatment could not only minimize the input costs, but also increase production, achieving the optimal ecological economic benefits.

Keywords: conservation tillage; wheat; field pea; emergy input; emergy output

保护性耕作是相对于传统耕作的一种创新^[1]。大量的研究表明^[2-8], 保护性耕作能够增加土壤有

收稿日期: 2014-04-05

基金项目: 科技部中小企业创新基金“国审小麦品种定西 40 号良种繁育与示范推广”(技术创新项目, 13C26216205939); 甘肃省干旱生
境作物学重点实验室—省部共建国家重点实验室培育基地开放基金课题(GSCS-2013-13)

作者简介: 牟丽明(1975—), 女, 甘肃定西人, 副研究员, 主要从事小麦新品种选育及产业化开发工作。

通信作者: 蔡立群(1976—), 男, 甘肃永昌人, 博士, 副教授, 主要从事恢复生态学方面的研究。E-mail: cailq@gsau.edu.cn。

机质,改善土壤结构,增加土壤持水性能、抗蚀性和通透性,促进作物对养分的吸收,有利于作物生长发育,提高作物产量。农田进行保护性耕作后,土壤的水、肥、气、热状况重新组合,其生态、社会和经济效益显著提高,是农业持续发展的有效措施和途径之一,对于农业生态系统健康稳定可持续发展具有重要意义。

在黄土高原西部旱作农业区,有关保护性耕作对作物生产、土壤理化和生物学性质及水土流失等方面的影响研究已较深入^[4],但有关保护性耕作的能值分析却鲜见报道。以往利用货币流或能量流方法对不同耕作措施进行比较研究,在一定程度上能够评价各种耕作方式的经济贡献,但是忽视了耕作过程中环境的作用,无法体现自然环境的作用和贡献。而能值分析着重于对系统整体特征进行分析,不仅解决了传统能量分析方法中不同能量类别难于比较和加减的问题,而且从一个全新的角度来看待自然环境资源在生态系统中的作用,可以比较分析不同类别能量,综合分析评价能流、物流和价值流。本文利用能值分析理论,对黄土高原半干旱区保护

性耕作方式下小麦和豌豆生产的投入产出进行综合分析,旨在探究适合该区的农业技术体系,从而确立该区农业产业化和可持续发展的方向,为保护性耕作在陇中干旱半干旱农业区的进一步应用提供生态经济学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验设在黄土高原半干旱丘陵沟壑区的定西市李家堡镇麻子川村。该区属中温带偏旱区,海拔 1 977 m,年均太阳辐射 594.7 kJ·cm⁻²,日照时数 2 476.6 h,年均气温 6.4℃,≥0℃积温 2 933.5℃,≥10℃积温 2 239.1℃;无霜期 140 d。多年平均降水 390.9 mm,年蒸发量 1 531 mm,干燥度 2.53,80% 保证率的降水量为 365 mm,变异系数为 24.3%。土壤为典型的黄绵土,土质绵软,土层深厚,质地均匀,贮水性能良好。

1.2 试验设计

定位试验始于 2001 年 8 月,采用春小麦和豌豆双序列轮作方式。各序列分别设 6 个处理,3 次重复,小区面积 4 m×20 m,随机区组排列。

表 1 试验处理描述

Table 1 Treatment description

代码 Code	处理 Treatments	操作方法 Operation
T	传统耕作 Conventional tillage with no straw	作物收获后至土壤冻结前三耕两耧,前作收获后 8 月份进行第 1 次耕作,8 月底和 9 月份分别进行第 2、3 次耕作,翻耕深度依次为 20 cm、10 cm 和 5 cm。9 月份第 3 次耕作后耧 1 次,10 月份冻结前再耧 1 次。
NT	免耕 No-till with no straw cover	全年不耕作,播种时用免耕播种机一次性完成播种和施肥,不覆盖任何材料,收获后用 2,4-D 丁酯除草。
TS	传统耕作 + 秸秆还田 Conventional tillage with straw incorporated	耕作方式同 T,在第 1 次耕作的同时将前茬作物秸秆翻埋入土,秸秆用量平均为 3 000 kg·hm ⁻²
NTS	免耕 + 秸秆覆盖 No-till with straw cover	耕作、播种和除草方法同 NT,从前作收获后至第 2 年整个生育期地面覆盖作物秸秆,秸秆用量平均每年为 3 000 kg·hm ⁻²
TP	传统耕作 + 地膜覆盖 Conventional tillage with plastic mulch	耕作方式同 T,最后一次耧地后,利用覆膜机覆膜。播种用膜侧播种机播种。
NTP	免耕 + 地膜覆盖 No-till with plastic mulch	在化学除草后利用覆膜机覆膜,播种用膜侧播种机播种,其它作业流程同 NT。

春小麦品种为“定西 40 号”,播种量 187.5 kg·hm⁻²;豌豆品种为“绿农 1 号”,播种量 100 kg·hm⁻²。NT、NTS 处理用中国农业大学研制的免耕播种机播种,春小麦行距 20 cm,豌豆行距 24 cm,播深均为 7 cm。春小麦播期为每年 3 月中旬,豌豆为每年 3 月下旬。小麦各处理均施氮 105 kg·hm⁻²,P₂O₅ 105 kg·hm⁻²;豌豆各处理均施氮 20 kg·hm⁻²,P₂O₅ 105 kg·hm⁻²,所有肥料都作为基肥在播种时同

时施入。

TS 和 NTS 处理在试验起始年份全用上一年新鲜的小麦秸秆,经翻晒,切碎成 3 cm 左右后均匀撒布于小区内,用量为 3 000 kg·hm⁻²,此后每年将 TS 和 NTS 各小区每茬收后作物的秸秆和作物壳全部归还各小区。TP 和 NTP 所用地膜为 40 cm 宽,0.015 mm 厚的聚乙烯薄膜,每茬作物都在前一年 11 月份覆膜。

2 分析指标及折算方法

本研究在完成了试验区近十年小麦和豌豆投入产出的各项原始数据的收集工作后,应用 Microsoft Office Excel 2003 对其进行了分类、汇总、能量折算及能值转换,将不同度量单位转换为统一的能值单位(sej),编制成能值分析表。所涉及的太阳能值转换率参照 Odum^[9]、蓝盛芳^[10]等,能量折算系数和计算方法参照骆世明^[11]、闻大中^[12]等的研究。其中:

1) 太阳辐射能

太阳辐射能($J \cdot a^{-1}$) = 土地面积(m^2) × 太阳光年平均辐射量($J \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$)

2) 雨水势能

雨水势能($J \cdot a^{-1}$) = 土地面积(m^2) × 平均降水量($m \cdot a^{-1}$) × 雨水密度($10^6 g \cdot m^{-3}$) × 平均海拔高度(m) × 重力加速度($9.8 m \cdot s^{-2}$)

3) 雨水化学能

雨水化学能($J \cdot a^{-1}$) = 土地面积(m^2) × 平均降水量($m \cdot a^{-1}$) × 雨水密度($10^6 g \cdot m^{-3}$) × 吉布斯自由能($4.94 J \cdot g^{-1}$)

4) 净能值产出率

净能值产出率 = 产出(输出)能值/反馈(输入)能值

该指标反映了系统在获得经济输入能值上是否具有优势,这在一定程度上反映了系统的可持续发展状况。

5) 能值投入率

能值投入率 = 社会经济投入能值/自然环境资源投入能值

其中,社会经济投入需花钱购买;自然环境资源投入能值来自自然界的无偿投入,包括不可更新资源土壤和太阳能、风、雨等可更新的资源。该指标可用来衡量经济活动在一定条件下的竞争力和经济发展程度,其值越大表明系统经济发展程度越高,反之越低。

6) 宏观经济价值

宏观经济价值 = 作物产品的能值/能值/货币比率

该指标反映了产品的实际价值。

3 结果与分析

3.1 不同耕作措施小麦和豌豆投入产出能值分析

小麦和豌豆生产能量投入按其来源可以分为两

类:一类直接来源于自然界,包括可更新环境资源(太阳能、雨水化学能、雨水势能等)和不可更新环境资源(土壤表土层损失),这类能值是从自然界无偿得到,不用人类付出货币购买,称为无偿能值或免费能值;另一类能值来源于人类社会经济系统,包括人工工业辅助能(化肥、农药、农膜、农机具等)和人工可更新有机能(劳力、种子、秸秆、畜力等),这类能值需要货币购买,因而称为购买能值或经济能值。该试验条件下,投入到作物系统的环境可更新资源主要是雨水,其能值投入主要与作物系统面积大小、气候因素有关,因此就单位面积而言投入该区域中可更新环境资源能值是相同的;不可更新环境资源主要包括土壤表土层损失,但试验区均为平地,不产生地表径流,土壤表土层损失按照零计。

由表 2 中数据可知:小麦种植能值投入 $T > NT$ 、 $TS > NTS$ 、 $TP > NTP$,且 $TP > TS > T > NTP > NTS > NT$,免耕各处理的能值总投入均小于耕作各处理的能值总投入。购买能值中,以工业辅助能投入为主,有机能值投入为辅。工业辅助能投入 $NT > T$ 、 $NTS > TS$ 、 $NTP > TP$,免耕方式下工业辅助能投入大于耕作方式下工业辅助能投入;工业辅助能值中,以化肥能值投入为主。有机能值投入 $T > NT$ 、 $TS > NTS$ 、 $TP > NTP$,耕作方式下有机辅助能投入均大于免耕方式下有机辅助能投入;有机能值中,以人力能值投入为主。能值产出依次为 $T > NT$ 、 $NTS > TS$ 、 $NTP > TP$,且 NTS 处理产出能值最大, NTP 处理次之。

在几种耕作方法中,豌豆总能值投入依次为 $NT < NTP < NTS < T < TS < TP$ 。不论是否计算秸秆的投入,免耕(NT 、 NTS 、 NTP)各处理的总投入能值总是小于耕作(T 、 TS 、 TP)各处理的总投入能值。不计秸秆投入时, NTS 与 NT 投入差异不大。 NTP 投入能值大于 NT ,主要是地膜的投入比较大,当计入秸秆投入时, NTP 的投入仍比 NTS 的少。豌豆能值产出 $NTS > NTP > TS > TP > NT > T$, NTS 是能值产出最高的一种方式,豌豆籽实能值产出均大于秸秆能值产出。

3.2 不同耕作措施的能值结构分析

能值投入结构分析有助于从整体上认识不同耕作方式下小麦的开放与发展程度。不同耕作方式下小麦种植的能值投入结构见表 3。

由表 3 可见,不同处理小麦和豌豆种植在购买能值占总能值的比例均在 90% 以上,说明两种作物主要依赖购买能值。

表 2 不同处理下小麦和豌豆种植能值投入产出(2001—2010)/10¹³sej

Table 2 Energy inputs and outputs of wheat and field pea planted with different treatments(2001—2010)

项目 Item	处理 Treatment											
	T		NT		TS		NTS		TP		NTP	
	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea
太阳能 Solar energy	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
雨水化学能 Rain chemical energy	0.67	0.94	0.67	0.94	0.67	0.94	0.67	0.94	0.67	0.94	0.67	0.94
雨水势能 Rain potential energy	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52
可更新资源能值 Renewable resource	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52
氮肥 Nitrogen fertilizer	1.53	0.29	1.53	0.29	1.53	0.29	1.53	0.29	1.53	0.29	1.53	0.29
磷肥 Phosphate fertilizer	5.91	5.91	5.91	5.91	5.91	5.91	5.91	5.91	5.91	5.91	5.91	5.91
机械 Machinery	6.31	6.31	1.75	1.75	6.31	6.31	1.75	1.75	9.47	9.47	4.21	4.21
农药 Pesticide	—	—	6.37	6.37	—	—	6.37	6.37	—	—	6.37	6.37
地膜 Plastic	—	—	—	—	—	—	—	—	0.85	0.85	0.85	0.85
不可更新工业辅助能值 Unrenewable industrial	13.75	12.51	15.56	14.32	13.75	12.51	15.56	14.32	17.76	16.52	18.87	17.63
人力 Labor	7.26	7.26	2.25	2.25	7.89	7.89	2.90	2.90	7.89	7.89	2.90	2.90
蓄力 Animals	1.90	1.90	—	—	1.90	1.90	—	—	1.90	1.90	—	—
种子 Seed	2.38	1.26	2.38	1.26	2.38	1.26	2.38	1.26	2.38	1.26	2.38	1.26
秸秆 Straw	—	—	—	—	2.90	3.43	3.19	3.83	—	—	—	—
可更新有机能值 Renewable organic	11.54	10.42	4.63	3.51	15.07	14.48	8.47	7.99	12.17	11.05	5.28	4.16
总能值投入 Total input	26.81	24.45	21.71	19.35	30.34	28.51	25.55	23.83	31.45	29.09	25.67	23.31
籽实 Seed	7.03	60.63	6.51	65.31	7.21	68.72	8.19	79.83	7.88	71.20	7.73	77.24
秸秆 Straw	5.90	6.64	6.00	7.26	6.45	8.80	7.09	7.88	6.78	5.04	7.10	6.49
能值产出 Energy output	12.93	67.27	12.51	72.57	13.66	77.52	15.28	87.71	14.66	76.24	14.83	83.73

小麦种植免耕方式下工业辅助能占总辅助能的比例均大于耕作方式下工业辅助能占总辅助能的比例。说明环境条件对小麦种植的贡献不高,因此,在环境限制因素下应不断提高购买能值的投入,以达到对环境的高效利用。而有机辅助能值占总辅助能值的比例 $TS > T > TP > NTS > NT > NTP$,耕作方式下有机辅助能占的比例均大于免耕方式,主要是耕作方式下人力能值的投入比较大的原因。工业辅助能值投入主要以化肥投入为主。有机辅助能值投入主要来自人力、畜力、种子和秸秆,其中,以人力投入为主。工业辅助能值中,化肥能值投入占绝对的优势,六种不同的耕作方式下依次为 $T = TS > NTS = NT > TP > NTP$,在化肥投入量相同的情况下,比例越大,说明投入的其它工业辅助能值越小。其它如地膜、塑料薄膜、机械、农药能值投入均占比例很小。有机能辅助能值中,种子投入量相同,种子能值投入为 $NT > NTP > NTS > T > TP > TS$,免耕处理下种子能值投入均大于耕作方式的投入。人力能值投入依次为 $TP > T > NTP > TS > NT > NTS$,耕作方式下人力能值投入均大于免耕方式人力能值投入,机械、畜力所占比例均比较小。

豌豆种植同样是免耕方式下工业辅助能占总辅助能的比例均大于耕作方式下工业辅助能占总辅助能的比例。耕作方式下有机辅助能占的比例均大于免耕方式下有机能占的比例,主要是因为耕作方式下人力能值的投入比较大。从表 3 可知,试验区有机辅助能中主要的能值投入来自人力、种子、畜力和秸秆。试验区不同耕作方式下豌豆种植面积是相同的,种子投入能值相等,种子能值投入占可更新有机能投入的比例分别为 12.09%、35.90%、8.70%、16.49%、11.40%、30.29;人力能值投入占可更新有机能值的比例分别为 54.30%、64.10%、54.49%、71.40%、69.71%、37.96%,所占比例较大,说明人力仍然是豌豆种植的主要动力,农业机械化程度低,精耕细作程度很高。

3.3 不同耕作方式下能值结构比较

表 4 是不同处理下小麦和豌豆种植能值结构比较。由表中数据可知,6 种处理中,免耕 + 秸秆覆盖处理下豌豆的宏观经济价值最大。不同耕作方式下小麦和豌豆净能值产出率都是 $NT > T, NTS > TS, NTP > TP$,免耕处理下净能值产出率均大于耕作处理下净能值产出率。

表 3 不同处理下小麦和豌豆种植能值投入结构比较

Table 3 Comparison of emery input structure of wheat and pea planted with different treatments

能值指标 Emery index	处理 Treatment											
	T		NT		TS		NTS		TP		NTP	
	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea
环境资源能值/总能值 Environmental emery/Total emery	5.67	6.22	7.00	7.86	5.01	5.33	5.95	6.38	4.83	5.23	5.92	6.52
工业辅助能/总能值 Industrial assistant emery/Total emery	51.29	51.17	71.67	74.01	45.32	43.88	60.90	60.09	56.47	56.79	73.51	75.63
有机能值/总能值 Organic emery/Total emery	45.63	42.62	21.33	18.14	49.67	50.79	33.15	33.53	38.70	37.99	20.57	17.85
购买能值/总能值 Purchase emery/Total emery	94.33	93.78	93.00	92.14	94.99	94.67	94.05	93.62	95.17	94.77	94.08	93.48
工业辅助能值/总辅助能值 Industrial assistant emery /Total assistant emery	54.37	54.56	77.07	80.31	47.71	46.35	64.75	64.19	59.34	59.92	78.14	80.91
有机能值/总辅助能值 Organic emery/Total assistant emery	45.63	45.44	22.93	19.69	52.29	53.65	35.25	35.81	40.66	40.08	21.86	19.09
化肥能值/工业辅助能值 Fertilizer emery/Industrial assistant emery	54.11	49.56	47.81	43.30	54.11	49.56	47.81	43.30	41.89	37.53	39.43	35.17
机械能值/工业辅助能值 Machinery emery/Industrial assistant emery	45.89	50.44	11.25	—	45.89	50.44	11.25	—	53.32	57.32	22.31	23.88
农药能值/工业辅助能值 Pesticide emery/Industrial assistant emery	—	—	40.94	44.48	—	—	40.94	44.48	—	—	33.76	36.13
薄膜能值/工业辅助能值 Plastic emery/Industrial assistant emery	—	—	—	—	—	—	—	—	4.79	5.15	4.50	4.82
人力能值/有机能辅助能值 Labor emery/Organic assistant emery	62.91	69.67	48.60	64.1	52.36	54.49	34.24	36.30	64.83	71.40	54.92	69.71
畜力能值/有机能辅助能值 Animals emery/Organic assistant emery	14.46	18.23	—	—	12.61	13.12	—	—	15.61	17.19	—	—
种子能值/有机能辅助能值 Seed emery/Organic assistant emery	20.62	12.09	51.40	35.90	15.79	8.70	28.10	15.77	19.56	11.40	45.08	30.29
秸秆能值/有机能辅助能值 Straw emery/Organic assistant emery	—	—	—	—	19.24	23.69	37.66	47.93	—	—	—	—

表 4 不同处理下小麦和豌豆种植能值结构比较

Table 4 Comparison of emery structure of wheat and pea planted with different treatments

项目 Item	处理 Treatment											
	T		NT		TS		NTS		TP		NTP	
	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea	小麦 Wheat	豌豆 Pea
净能值产出率 Net emery yield ratio	0.51	2.93	0.62	4.07	0.47	2.87	0.64	3.93	0.49	2.77	0.61	3.84
能值投入 Emery investment ratio	16.64	15.09	13.28	11.73	18.96	17.76	15.81	14.68	19.69	18.14	15.89	14.34
宏观经济价值 Macro-economy value	7.84	40.77	7.58	43.98	8.28	46.98	9.26	53.16	8.88	46.12	8.99	50.75

Odum 认为^[9]该值应该在 1~6 之间,小麦净能值产出率小于 1,说明其投入不经济,投入结构不合理,能值转化效率不高;豌豆大于 1,且高于全国农业平均净能值产出率 1.42。同一耕作方式下豌豆净能值产出率高于小麦,表明豌豆种植向外界输出的能值量较大,豌豆投入较少经济能值的同时可以取得较大的产出,在市场上竞争力较强。

小麦和豌豆能值投入率均为 $NT < T, NTS < TS,$

$NTP < TP,$ 免耕方式下能值投入率均小于耕作方式下能值投入率。同一耕作方式下,小麦能值投入率大于豌豆,小麦对无偿环境资源的利用相应投入了较多的购买能值,对无偿环境资源的压力较大。

小麦的宏观经济价值 $NTS > NTP > TP > TS > T > NT,$ NTS 处理下小麦的宏观经济价值最大,NTP 处理次之;豌豆的宏观经济价值 $NTS > NTP > TS > TP > NT > T,$ NTS 处理下豌豆的宏观经济价值最大,

NTP 处理次之,保护性耕作方式下豌豆的宏观经济价值大于传统耕作。同一耕作方式下,豌豆宏观经济价值远远大于小麦,表明豌豆种植对经济的贡献比小麦大。

4 小结与讨论

1) 同一耕作方式下,小麦能值投入大于豌豆,主要是小麦氮肥能值投入远大于豌豆,是豌豆氮肥能值投入的 5 倍。不同耕作方式下小麦、豌豆购买能值投入占总能值投入绝大部分,达 90% 以上;环境资源能值投入对两作物生产的贡献较小。传统耕作三种模式在人工和机械费用的投入远高于免耕三种模式,使得耕作处理下能值总投入大于相应的免耕处理。

2) 同一耕作方式下豌豆能值产出是小麦的 5 倍以上,豌豆净能值产出率高于小麦。不同耕作方式下,两作物净能值产出率均为免耕处理大于相应的耕作处理。小麦净能值产出率小于 1,说明其投入结构不合理,能值转化率较低;豌豆大于 1,表明种植此作物向外界输出的能值量较大,同时可以获得较大的产出,具有较强市场竞争力。保护性耕作中免耕 + 秸秆覆盖 (NTS) 处理下,小麦和豌豆的能值产出分别为 15.28×10^{23} sej、 87.71×10^{13} sej,两种作物能值产出分别达到最大。

3) 同一耕作方式下,豌豆宏观经济价值远远大于小麦,表明豌豆种植对经济的贡献比小麦大,豌豆更适合于当地的种植条件。免耕 + 秸秆覆盖处理下小麦和豌豆的宏观经济价值都达到最大,分别为 $73.81 \text{ 元} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 和 $423.67 \text{ 元} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 。在该地区相对于传统耕作,免耕 + 秸秆覆盖不仅能够节约劳动、节约投入,而且可以增产增收。推广豌豆种植,特别是豌豆种植保护性耕作法的免耕 + 秸秆覆盖,应作为定西旱地农业区种植业发展的方向。

4) 能值理论应用于生态经济系统的分析,一般侧重大范围大尺度,为区域生态经济发展奠定基础,对于小范围,例如作物系统所进行的分析很少,意味着这种分析方法在实际操作中存在诸多困难,例如对系统的能量流、货币流、信息流进行能值综合分析。建立保护性耕作效应评价系统应包括:(1)不同耕作方式的评价因素的确定,如传统耕作、免耕和传统耕作结合秸秆还田等。(2)不同生产层次的评价因素的确定,应该考虑各个等级上的效益,例如气候调节、环境等价值的估计。(3)农业生态系统服务价值的时间尺度和空间尺度的转换。(4)实现以上各

项评价的综合价值评价。运用动态系统建模原理和现代计算机技术,建立计算机模型对所研究系统进行动态模拟,分析保护性耕作效应,评价自然环境对经济的贡献,探究适合的农业技术体系,指导农业生态系统良性循环和可持续发展。

5) 试验区小麦种植中工业辅助能占总辅助能值的很大比重,其中,化肥能值投入占工业辅助能值投入最大,由于它的不可更新性、有限性和对环境的污染,不利于农业的可持续发展。因此,两种粮食作物种植的重点应放在提高可更新资源的投入上。可更新资源能值投入包括可更新的环境资源和有机能投入,前者在小范围内无变化,故提高可更新资源能值投入的实质是增加可更新有机能的投入。为此,大力提高有机肥的还田率,尤其是秸秆还田,有利于农业生产发展。实践证明,黄土高原半干旱区六种耕作方式中免耕 + 秸秆覆盖能够达到生态经济效益的最优。以往利用农业经济评价方法对保护性耕作经济适应性的研究结果表明:陇中黄土高原半干旱区实施免耕 + 秸秆覆盖在几种耕作措施中是最佳的一种耕作方法^[4],这与本文的研究结果相一致。因此提倡保护性耕作,特别是免耕 + 秸秆覆盖的耕作方式,让农民得实惠,增加种植积极性,实现农业的健康可持续发展。

参 考 文 献:

- [1] 张胜爱,马吉利.不同耕作方式对冬小麦产量及水分利用状况的影响[J].中国农学通报,2006,22(1):110-113.
- [2] 杜兵,李向盈,邓健,等.保护性耕作表土作业的田间试验研究[J].中国农业大学学报,2000,5(4):65-67.
- [3] 赵廷祥.农业保护性耕作与生态环境保护[J].农村牧区机械化,2002,(4):7-8.
- [4] 孙利军,张仁陟,蔡立群.黄土高原半干旱区保护性耕作经济适应性评价[J].干旱地区农业研究,2006,24(5):14-19.
- [5] 严洁,邓良基,黄剑.保护性耕作对土壤理化性质和作物产量的影响[J].中国农机化,2005,(2):31-34.
- [6] 沈玉琥.秸秆覆盖的农田效应[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):45-50.
- [7] 王鸿斌,王洪英,徐金荣,等.不同耕作方式对黑土结构性的影响[J].吉林农业大学学报,2005,27(6):658-662,674.
- [8] 李洪文,陈君达,高焕文.旱地农业三种耕作措施的对比研究[J].干旱地区农业研究,1997,15(1):7-11.
- [9] Brown M T, Ulgiati S. Energyquality, emergy, andtransformity: H. T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems[J]. Ecological Modeling, 2004, 178(1-2):201-213.
- [10] 蓝盛芳,钦佩,陆宏芳.生态经济系统能值分析[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [11] 骆世明.农业生态学[M].北京:中国农业出版社,2001.
- [12] 闻大中.农业生态系统能流的研究方法(一)[J].农业生态环境,1985,1(4):47-52.