

# 河西灌区田间固定道保护性耕作下 作物轮作模式效益评价

张立勤<sup>1</sup>, 马忠明<sup>2</sup>, 连彩云<sup>1</sup>, 吕晓东<sup>1</sup>, 崔云玲<sup>1</sup>

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 在甘肃河西走廊, 通过田间试验结合入户调研的方式, 运用综合评价的方法, 对基于固定道保护性农业的 7 种轮作模式进行了分析。结果表明: 小麦-加工型甜椒-玉米经济效益最好, 净收益、产投比和单方水产值分别为  $1.52 \times 10^4$  元·hm<sup>-2</sup>、2.00 和 5.39 元·m<sup>-3</sup>; 小麦-啤酒大麦-小麦劳动生产率最高, 达 240.2 元·人<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>, 社会效益在所有轮作模式中也相对最好; 小麦-油菜-啤酒大麦区域水资源安全保障度、水分能量生产效率、热量利用率分别为 1.83、 $2.07 \times 10^4$  kJ·m<sup>-3</sup> 和 66.12%, 生态效益最好; 综合效益相对较好的 4 种轮作模式分别为小麦-加工型甜椒-玉米、小麦-马铃薯-小麦、小麦-玉米-玉米和小麦-针叶豌豆-小麦。兼顾考虑固定道保护性农业系统的稳定性维护, 小麦-加工型甜椒-玉米、小麦-玉米-玉米和小麦-针叶豌豆-小麦三种轮作模式更适宜在固定道保护性农业技术体系中进行应用和推广。

**关键词:** 固定道保护性农业; 轮作模式; 层次分析法; 河西走廊

中图分类号: S344.13 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)04-0107-06

## Benefit evaluation of crop rotation patterns under conservation tillage with permanent raised bed in Hexi irrigated areas

ZHANG Li-qin<sup>1</sup>, MA Zhong-ming<sup>2</sup>, LIAN Cai-yun<sup>1</sup>, LU Xiao-dong<sup>1</sup>, CUI Yun-ling<sup>1</sup>

(1. Soil and Fertilizer and Water-Saving Institute, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** Based on the field experiment combined the investigation from farmers, the comprehensive evaluation method was used to analyze the benefits of 7 crop rotation patterns under conservation tillage with permanent raised bed in Hexi corridor of Gansu Province. The results showed: the economic benefit of wheat-sweet pepper-maize was the best, whose net income, output/input ratio and output value per cubic meter of irrigation water were  $1.52 \times 10^4$  yuan·hm<sup>-2</sup>, 2.00 and 5.39 yuan·m<sup>-3</sup>, respectively; the labor productivity of wheat-barley-wheat was the highest, being 240.2 yuan·person<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>, and its social benefit was also the best among all the rotation patterns; and the ecological benefit of wheat-oil sunflower-wheat was the best, whose guarantee degree of regional water resource, energy production efficiency of water and use efficiency of heat energy were 1.83,  $2.07 \times 10^4$  kJ·m<sup>-3</sup> and 66.12%, respectively. According to comprehensive benefits, the four rotation patterns of wheat-sweet pepper-maize, wheat-potato-wheat, wheat-maize-maize and wheat-coniferous pea-wheat were relatively good. Considering the stability maintenance of agricultural system, wheat-sweet pepper-maize, wheat-maize-maize and wheat-coniferous pea-wheat were the suitable rotation patterns for conservation agriculture with permanent raised bed.

**Keywords:** conservation agriculture with permanent raised bed; rotation pattern; analytic hierarchy; Hexi corridor

甘肃河西走廊, 地处我国西北干旱区, 既是一个传统的优势农业区, 也是一个典型的资源型缺水地区。全区水资源人均占有量 1 440.59 m<sup>3</sup>, 不足全国

平均水平的 2/3<sup>[1]</sup>, 现状缺水已达 10.26 亿 m<sup>3</sup>。干旱、缺水诱发超采地下水, 再加上铧式犁翻耕、冬春地表裸露的传统耕作方式、以及大风天气较多的共

收稿日期: 2013-10-05

基金项目: 中澳合作项目“甘肃河西走廊固定道保护性农业研究”(SMCN/2002/094)

作者简介: 张立勤(1970—), 男, 甘肃张掖人, 副研究员, 主要从事作物栽培与节水农业方面的研究。E-mail: lqzhang1993@163.com。

通信作者: 马忠明, 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事耕作栽培与节水农业研究。E-mail: mazhming@163.com。

同作用,致使区内地下水位下降、耕地沙化、荒漠化速度加快,扬沙浮尘天气逐年增多,农业生态环境趋于恶化<sup>[2-3]</sup>。同时,受劳动力转移的影响,外出打工人数增多,区内从事农业生产的青壮年劳力逐年短缺。水分利用效率不高、低效、费工费时的传统农业生产模式,已难以适应区内经济和农业可持续发展的需要。区内农业发展面临一方面要高效、节水、省工,另一方面要生态、环保的多重压力。

固定道保护性农业技术,指第一年起垄种植,以后垄、沟相对固定,垄上种植作物,垄沟既是灌水沟,也是机具作业时的行走道,并在收获后留茬、免耕的一种耕作方法。技术节水、减投、增效明显,有利于保护作物生长环境和农业生态环境,很多国家将其作为实现农业可持续发展的方法之一,美国、英国、德国不少国家都在对其进行研究<sup>[4-9]</sup>。从 2005 年开始,该项技术从澳大利亚引入甘肃河西走廊,并在春小麦生产中表现出较好的增收效果和节水效应,但如何将固定道保护性农业的技术优势与河西走廊的主栽作物及区域特色产业相结合,构建并筛选与之相适应的合理轮作模式,充分发挥技术自身优势,提高技术应用的综合效益,促进该区农业向生态、节水、高效方向发展,无疑是固定道保护性农业技术能否在河西走廊快速推广应用的关键。为此,在甘肃河西走廊中部的张掖市,构建了 7 种基于固定道保护性农业的轮作模式,并从经济效益、社会效益、生态效益 3 个方面进行综合评价,旨在筛选出适宜于固定道保护性农业的合理轮作模式,为该项技术的快速推广应用提供科学依据。

## 1 研究内容与评价方法

### 1.1 研究内容

研究以固定道保护性农业技术为核心,结合区域主栽作物和特色产业,选取维系该区人民正常生活的‘口粮’作物春小麦、种植面积较大的玉米、特色产业啤酒大麦、加工型马铃薯、加工型甜椒以及油菜和针叶豌豆,构建小麦-玉米-玉米、小麦-啤酒大麦-小麦、小麦-针叶豌豆-小麦、小麦-马铃薯-小麦、小麦-油菜-小麦、小麦-油菜-啤酒大麦、小麦-加工型甜椒-玉米 7 种轮作模式,通过定点试验、入户调研、结合查阅农业统计数据的方法,对不同轮作模式进行综合评价。

1.1.1 定点试验 在甘肃省农科院张掖节水农业试验站进行。试验站位于东经 100°26',北纬 38°56',地处张掖市甘州区黑河上游的大满灌区,海拔 1 570 m,年平均蒸发量 2 047 mm,降水量 130 mm,干旱指

数达 10.3。其气候特征、土壤类型、农作物种植模式在河西走廊具有很强的代表性。通过 3 年一个完整轮作周期的田间试验,获得了不同轮作模式系统的灌水定额、产量、水分利用效率等试验数据。

1.1.2 入户调研 主要在张掖市甘州区进行,综合生产资料、资源以及市场波动等影响因素,确定了 7 种轮作模式系统的产值、物资成本、劳动投入和净收益等指标数据。

1.1.3 农业统计数据查阅 在张掖市统计局和水务局查阅了农业总产值、总人口、单位耕地面积粮食产量、区域配水定额等相关数据,并明确了各项指标间的关系,确保评价的系统性、科学性和客观性。

### 1.2 评价方法

1.2.1 不同轮作模式综合效益评价 用层次分析法进行,其具体步骤是(1)根据综合效益(A)值的大小确定不同轮作模式的优劣排序,以经济效益、社会效益和生态效益作为一级评价指标(B1、B2、B3),净收益、产投比等 9 项指标作为二级指标(C1~C9),构建层次结构模型如图 1。(2)构建判断矩阵,采用 1~9 及其倒数的标度,对模型中各因素的相对重要性做比较评价,得到每一层因素间相对重要性的判断矩阵,并通过判断矩阵的一次性指标  $CI$ ,求得随机一次性比值  $CR = CI/RI$ ,并进行比较判定。(3)采用判断矩阵,计算各指标的重要性权重,求得各指标对于上一层指标的重要性权重( $W$ )。(4)利用极差法对所有指标取值进行无量纲化( $Z_i$ )处理,得到标准化数据,具体计算公式为(I)  $Z_i = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 和(II)  $Z_i = (X_{\max} - X_i) / (X_{\max} - X_{\min})$ ,由于试验评价指标中无负向指标,因此,无量纲化处理时采用公式(I)进行计算。

1.2.2 不同轮作模式效益比较 其中,轮作模式的净收益:用单位面积农产品产值与生产成本之差表示;轮作模式的产投比:以单位面积农产品产值与生产成本之比表示;单方水产值:以单位面积农产品产值与轮作模式平均耗水量之比表示;轮作模式的劳动生产率:用单位面积上一年内单位活劳动力所生产的农产品产值表示;粮食安全贡献率:用单位面积种植模式的粮食产量与现有区域单位耕地面积粮食产量(5 304.86 kg/hm<sup>2</sup>)的百分比表示,其中模式 4 的粮食安全贡献率,按照马铃薯经济产量 5:1 折合为标准粮产量后(6 664.97 kg·hm<sup>-2</sup>)计算而得;农民收入贡献率:用轮作模式单位面积农产品产值与区域农民平均农业收入(区域农业总产值与区域农业总人口之比)的百分比表示(三年区域农业总产值平均为 1 046 579.08 万元,农业人口为 99.64 万人);水

分能量生产效率:用以评价各种模式的水效率<sup>[10-11]</sup>,以作物经济产量换算能量,用经济产量总能量与耗水量之比表示;热量利用率:用轮作系统作物生长期积温( $\geq 10^{\circ}\text{C}$ )对全年积温( $\geq 10^{\circ}\text{C}$ )的利

用率表示;区域水资源安全保障度:用张掖市水务局所制定的配水定额( $6\,600\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ )与种植模式实际灌水定额之比表示。

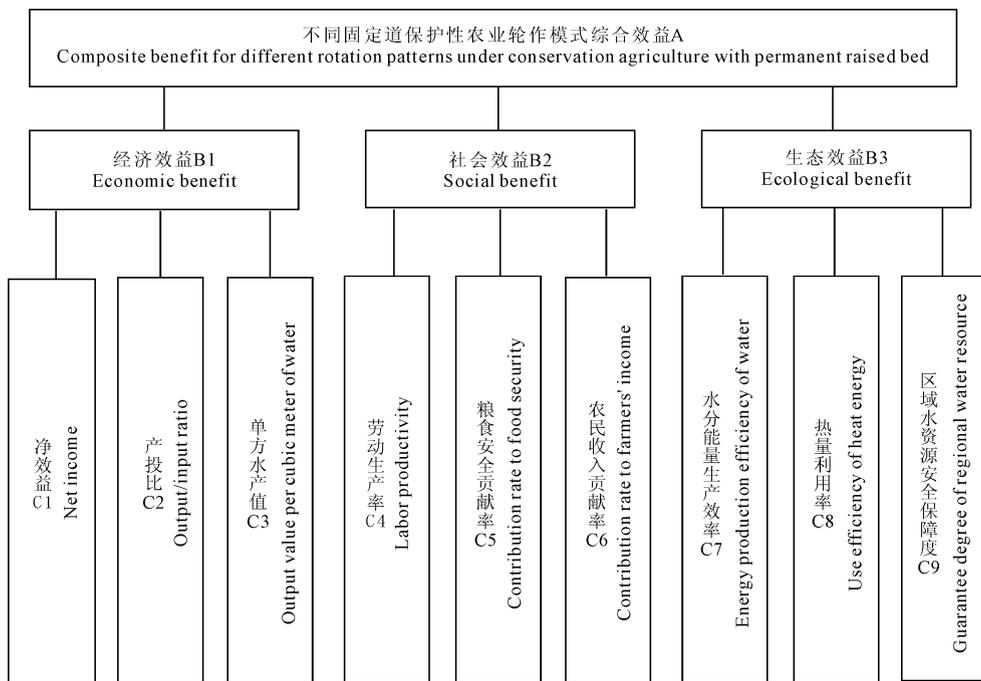


图 1 固定道保护性农业不同轮作模式综合效益评价体系

Fig. 1 Evaluation system of composite benefit for different rotation patterns of conservation agriculture using permanent raised bed

## 2 结果与分析

表 1 列出了基于固定道保护性农业的 7 种不同轮作模式的灌水、耗水、产投效益、农产品总能量及公顷用工量等情况。其中灌溉定额、耗水量、经济产量均由田间试验测得,不同轮作模式的产值、生产成本以及用工量,通过试验、结合区域较大范围的系统入户调研数据后,取加权平均值计算得到;农产品总能量按照经济产量和《农业生态学》<sup>[12]</sup>中的农产品热量表计算获得。

### 2.1 不同轮作模式经济效益比较

在固定道保护性农业条件下,涉及到油葵的两种轮作模式小麦-油葵-小麦、小麦-油葵-啤酒大麦经济效益相对较差(表 2);小麦-加工型甜椒-玉米、小麦-马铃薯-小麦、小麦-玉米-玉米三种轮作模式经济效益较好,在净收益、产投比和单方水产值 3 个方面均优于其他轮作模式;小麦-加工型甜椒-小麦轮作模式经济效益尤为突出,其净收益和产投比分别是小麦-油葵-啤酒大麦轮作模式的 3.09 倍和 1.87 倍,是小麦-油葵-小麦轮作模

式的 3.02 倍和 1.87 倍。对不同轮作模式的经济效益进行单方面对比分析,可以看出,经济产量和产品价格是决定轮作模式经济效益的关键因素;二者共同作用,将有效提高单位面积的产值。小麦-加工型甜椒-玉米、小麦-马铃薯-小麦、小麦-玉米-玉米三种轮作模式,都是因为单位面积产值高,因此,在单方水产值上也优于其它轮作模式。

### 2.2 不同种植模式社会效益比较

不同轮作模式的社会效益评价,主要从劳动生产率、对农民收入和粮食安全的贡献 3 个方面进行判定,劳动生产率主要由劳动力数量的投入和单位面积产值决定。从表 2 可以看出,小麦-啤酒大麦-小麦、小麦-针叶豌豆-小麦、小麦-马铃薯-小麦三种轮作模式的劳动生产率较高;前两种轮作模式的劳动生产率较高的主要原因是:在固定道保护性农业条件下,进行小麦、啤酒大麦生产的播种和收获机具相对成熟,田间作业的机械化程度要高于其它轮作模式,生产中机械动力几乎替代了全部人力,针叶豌豆在生产过程中的用工也相对较少。后一种轮作模式,尽管马铃薯生产过程中用工略多,但单位

面积的产值相对较高,因此劳动生产率也相对提高;农民收入贡献率的高低,主要取决于轮作模式中作物的产量水平和产品的价格,小麦-加工型甜椒-玉米、小麦-玉米-玉米两种轮作模式有利于提高农民收入,农民收入贡献率远高于其它轮作模式。

而轮作模式中是否包含有高产粮食作物,则对粮食安全贡献率具有较大影响,两种均包含玉米的轮作模式,小麦-玉米-玉米和小麦-加工型甜椒-玉米,粮食安全贡献率较高,对粮食安全的贡献较大。

表 1 不同轮作模式产投效益

Table 1 The output and input of different rotation patterns

轮作模式 Rotation pattern	灌溉定额 Irrigation quota /( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	耗水量 Water consumption /( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	经济产量 Yield /( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	产值 Output value /( $\text{yuan} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	生产成本 Production cost /( $\text{yuan} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	公顷用工量 Amount of labor used per hectare /( $\text{person} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	农产品总能量 Total energy of agricultural products /( $10^8 \text{ KJ} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
小麦-玉米-玉米 Wheat - maize - maize	4755	5478.6	11484.7	23636.3	11447.9	126.4	1.88
小麦-啤酒大麦-小麦 Wheat - barley - wheat	3755	4219.3	5479.0	12071.9	5795.5	50.3	0.87
小麦-针叶豌豆-小麦 Wheat - coniferous pea - wheat	3555	3808.9	5180.5	12217.9	6162.7	55.0	0.82
小麦-马铃薯-小麦 Wheat - potato - wheat	3955	4387.7	17225.5	26352.4	9919.6	96.5	1.20
小麦-油菜-小麦 Wheat - oil sunflower - wheat	3705	4543.8	4967.8	13120.6	8085.5	90.8	0.88
小麦-油菜-啤酒大麦 Wheat - oil sunflower - barley	3605	4512.7	5250.5	12977.8	8060.6	90.8	0.93
小麦-加工甜椒-玉米 Wheat - sweet pepper - maize	5005	5640.2	18527.9	25885.8	15189.3	174.6	1.29

注:表中比较项为不同轮作模式一个完整轮作周期(3年)的平均值。灌溉定额计算时包含了储水灌溉。农产品产值计算时参照的价格(当地市场收购价)为:2010年,小麦 $2.10 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;2011年,小麦 $2.20 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,玉米 $1.80 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,啤酒大麦 $2.04 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;2012年,小麦 $2.40 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,玉米 $2.40 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,啤酒大麦 $2.00 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,针叶豌豆 $2.60 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;马铃薯 $1.30 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;油菜 $4.50 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,加工型甜椒 $0.88 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

Note: The data are the mean of whole rotation period (3 years) for different patterns. Irrigation quota includes the storage irrigation. The reference price of agricultural products (purchase price in local market): 2010, wheat  $2.10 \text{ yuan} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 2011, wheat  $2.20 \text{ yuan} \cdot \text{kg}^{-1}$ , maize  $1.80 \text{ yuan} \cdot \text{kg}^{-1}$ , barley  $2.04 \text{ yuan} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 2012, wheat  $2.40 \text{ yuan} \cdot \text{kg}^{-1}$ , maize  $2.40 \text{ yuan} \cdot \text{kg}^{-1}$ , barley  $2.00 \text{ yuan} \cdot \text{kg}^{-1}$ , pea  $2.60 \text{ yuan} \cdot \text{kg}^{-1}$ , potato  $1.30 \text{ yuan} \cdot \text{kg}^{-1}$ , oil sunflower  $4.50 \text{ yuan} \cdot \text{kg}^{-1}$ , sweet pepper  $0.88 \text{ yuan} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

表 2 不同轮作模式效益比较

Table 2 Benefit comparison of different rotation patterns

轮作模式 Rotation pattern	净收益 Net income /( $10^4 \text{ yuan} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	产投比 Output /input ratio	单方水产值 Output value per cubic meter of water /( $\text{yuan} \cdot \text{m}^{-3}$ )	劳动生产率 Labor productivity ( $\text{yuan} \cdot \text{person}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ )	粮食安全贡献率 Contribution rate to food security/%	农民收入贡献率 Contribution rate to farmers income /%	水分能量生产效率 Energy efficiency of water production /( $10^4 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-3}$ )	热量利用率 Use efficiency of heat energy /%	区域水资源安全保障度 Guarantee degree of regional water resource
小麦-玉米-玉米 Wheat - maize - maize	1.22	2.06	4.31	187.1	216.49	225.03	3.43	78.4	1.39
小麦-啤酒大麦-小麦 Wheat - barley - wheat	0.63	2.08	2.86	240.2	71.36	114.92	2.06	58.63	1.76
小麦-针叶豌豆-小麦 Wheat - coniferous pea - wheat	0.61	1.98	3.21	222.1	97.66	116.3	2.16	53.9	1.86
小麦-马铃薯-小麦 Wheat - potato - wheat	1.12	2.12	4.80	218.4	125.64	200.56	2.73	66.15	1.67
小麦-油菜-小麦 Wheat - oil sunflower - wheat	0.50	1.62	2.89	144.5	78.69	124.87	1.93	66.12	1.78
小麦-油菜-啤酒大麦 Wheat - oil sunflower - barley	0.49	1.61	2.88	142.9	41.98	123.5	2.07	66.12	1.83
小麦-加工甜椒-玉米 Wheat - sweet pepper - maize	1.52	2.00	5.39	174.3	135.72	289.42	2.29	75.57	1.32

### 2.3 不同种植模式生态效益比较

干旱、缺水一直是制约河西走廊农业发展的最关键因素,农作物生长季节能否按需供水,是决定作物产量水平的关键因子。任何作物轮作模式,在生产中应用时,要首先考虑是否有安全系数较高的用水保障。以张掖市水务局所制定的区域农业供水量作为标准,对7种轮作模式的用水安全性进行判定,结果表明:小麦-针叶豌豆-小麦、小麦-油葵-啤酒大麦两种轮作模式的区域水资源安全保障度最高,其原因是轮作模式中的针叶豌豆、油葵、啤酒大麦都是耐旱性相对较强的作物,生产中所需的灌水定额也相对较低。水分能量生产效率最高的轮作模式为小麦-玉米-玉米,水分能量生产效率为 $3.43 \text{ 万 kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ,小麦-马铃薯-小麦轮作模式次之,小麦-油葵-小麦轮作模式最低,仅为 $1.93 \text{ 万 kJ}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

### 2.4 不同轮作模式综合效益评价

为了兼顾多种效益目标,充分发挥固定道保护性农业的技术优势,运用层次分析法对各种轮作模式的应用成效进行综合评价,按照既定指标和层次分析法要求,构建判断矩阵。判断矩阵的随机一次性比值比较判定结果表明:各阶 $CR < 0.1$ ,符合要求。其中,一、二级指标对综合效益目标的权重取值见表3。

依据层次结构模型,计算得到不同轮作模式各个指标的分类效益评分和综合效益评分(表4),结果表明:在7种轮作模式中,小麦-加工型甜椒-玉

米轮作模式综合效益最好;其次为小麦-马铃薯-小麦和小麦-玉米-玉米两种轮作模式,前者由于经济效益、社会效益和生态效益均处在相对较高的水平,而表现出较好的综合效益,后者则因经济效益较好、社会效益中等、综合效益也相对较好,仅次于小麦-加工型甜椒-玉米和小麦-马铃薯-小麦两种轮作模式。小麦-针叶豌豆-小麦生态效益较好,经济和社会效益相对平衡且位于中等位置,其综合效益好于其余三种轮作模式。小麦-油葵-小麦轮作模式生态效益中等,但经济和社会效益相对较差,综合效益最差,小麦-油葵-啤酒大麦轮作模式尽管生态效益最好,但经济和社会效益在7种轮作模式中均最差,综合效益也表现欠佳。

表3 不同指标层对目标层的权重分布

Table 3 Weight distribution of different indicator layer to target layer

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	W <sub>i</sub>
	0.6333	0.1062	0.2605	
C <sub>1</sub>	0.6434			0.4075
C <sub>2</sub>	0.0738			0.0467
C <sub>3</sub>	0.2828			0.1791
C <sub>4</sub>		0.7235		0.0768
C <sub>5</sub>		0.0833		0.0088
C <sub>6</sub>		0.1932		0.0205
C <sub>7</sub>			0.2605	0.0678
C <sub>8</sub>			0.1062	0.0276
C <sub>9</sub>			0.6333	0.1652

表4 不同轮作模式的效益评价

Table 4 The benefit evaluation results of different rotation patterns

轮作模式 Rotation pattern	经济效益 Economic benefit		社会效益 Social benefit		生态效益 Ecological benefit		综合效益 Composite benefit	
	得分 Score	排序 Order	得分 Score	排序 Order	得分 Score	排序 Order	得分 Score	排序 Order
	小麦-玉米-玉米 Wheat - maize - maize	0.6832	3	0.5334	4	0.4483	6	0.6061
小麦-啤酒大麦-小麦 Wheat - barley - wheat	0.1535	5	0.7375	1	0.5599	5	0.3213	5
小麦-针叶豌豆-小麦 Wheat - coniferous pea - wheat	0.1639	4	0.6171	3	0.6741	2	0.3449	4
小麦-马铃薯-小麦 Wheat - potato - wheat	0.6837	2	0.6959	2	0.6047	3	0.6644	2
小麦-油葵-小麦 Wheat - oil sunflower - wheat	0.0211	6	0.0402	6	0.5978	4	0.1733	7
小麦-油葵-啤酒大麦 Wheat - oil sunflower - barley	0.0016	7	0.0095	7	0.6803	1	0.1792	6
小麦-加工型甜椒-玉米 Wheat - sweet pepper - maize	0.9826	1	0.4712	5	0.1565	7	0.7132	1

### 3 结论与讨论

固定道保护性农业技术自身机械化程度较高,有利于降低作业成本<sup>[13]</sup>、减少土壤压实<sup>[14]</sup>和保护农业生态环境,在甘肃河西走廊应用过程中表现出显著的节水效果,应用前景看好。将技术自身优势,与河西走廊农业的节水、高效、生态发展方向及区域种植业特点有机结合,建立基于固定道保护性农业的 7 种轮作模式,并从经济效益、社会效益、生态效益三个方面对 7 种不同轮作模式进行综合评分,系统评价,结果表明,小麦-加工型甜椒-玉米、小麦-马铃薯-小麦、小麦-玉米-玉米、小麦-针叶豌豆-小麦 4 种轮作模式综合效益相对好于其它轮作模式。小麦-加工型甜椒-玉米轮作模式综合效益表现最好,净收益、单方水产值、农民收入贡献率均高于其它轮作模式,产投比、粮食安全贡献率、水分能量生产效率和热量利用率也处于中等偏上水平,且有利于推动当地特色高值产业加工型甜椒的发展和壮大。小麦-玉米-玉米是基于当地传统主栽粮食作物的轮作模式,综合效益位列第三,除区域水资源安全保障度相对较低、劳动生产率处于中等偏低外,其余 7 项指标相对平衡,且均处于较高水平。以上两种轮作模式可作为固定道保护性农业的主体轮作模式,在当地农业生产加以推广和应用。小麦-针叶豌豆-小麦虽然净收益和农民收入贡献率相对偏低,但生产过程用工少,生产成本相对较低,产投比及劳动生产率都很高,同时水资源安全保障度也高于其它轮作模式,适宜在河西走廊灌溉水短缺、海拔偏高、劳力紧缺的冷凉灌区应用,可作为固定道保护性农业的配套轮作模式,在生产中应用和推广。而小麦-马铃薯-小麦轮作模式虽然综合效益较好,经济、社会、生态效益也相对较高,但播种、施肥机械化程度低,马铃薯收获时对固定道垄体破坏严重,在翌年播种前需重新对行起垄,不利于固定道保

护性农业系统的稳定性维护,因此,该种轮作模式不适宜在固定道保护性农业技术体系中进行推广和应用。

#### 参考文献:

- [1] 谢继忠. 河西走廊的水资源问题与节水对策[J]. 中国沙漠, 2004, (11): 802-808.
- [2] 胥宝一, 李得禄. 河西走廊荒漠化及其防治对策探讨[J]. 中国农学通报, 2011, 27(11): 266-270.
- [3] 王根绪, 程国栋, 沈永平. 近 50 年来河西走廊区域生态环境变化特征与综合防治对策[J]. 自然资源学报, 2002, 17(1): 78-86.
- [4] Cooper A W, Trowse J A C, Dumas W T. Controlled traffic in row crop production[C]//Proceedings of 7th International Congress on Agricultural Engineering. Gatton: Queensland University Gatton College, 1995: 1-6.
- [5] Raper R L, Reeves D W, Burt E C, et al. Conservation tillage and traffic effects on soil condition[J]. Trans of the ASAE, 1994, 37(3): 763-768.
- [6] Hassan I, Hussain Z, Akbar G. Effect of permanent raised bed on water productivity for irrigated maize-wheat cropping system[J]. Evaluation and performance of permanent raised bed cropping system in Asia, Australia and Mexico. ACIAR No. 121.
- [7] Tullberg J N, Ziebarth P J, Li Y X. Tillage and traffic effects on runoff[J]. Aust J Soil Res, 2001, 39: 249-257.
- [8] Braunack M V, McGarry D. Traffic control and tillage strategies for harvesting and planting of sugarcane (*Saccharum officinarum*) in Australia[J]. Soil Till Res, 2006, 89: 86-102.
- [9] 李洪文, 高焕文, 陈君达, 等. 固定道保护性耕作的试验研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 73-77.
- [10] 郑煜, 陈阜, 张海林, 等. 北京市灌溉农田水资源利用效率研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 55-57.
- [11] Rao N H. A simple dated water production function for use in irrigated agriculture[J]. Agile. Water Management, 1986, (13): 25-32.
- [12] 骆世明. 农业生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [13] Aggarwal P, Goswami B. Bed planting system for increasing water use efficiency of wheat (*t. aestivum*) grown in Inceptisol (Typic Ustochrept)[J]. Indian J Agric Sci, 2003, 73: 422-425.
- [14] 张进. 固定道保护性耕作的试验研究[J]. 山西农机, 2002, 16: 22-24. 25.