

周海波,付江凡,王长松. 江西省双季稻田三熟制种植模式综合效益评价[J]. 江苏农业科学,2019,47(4):294-299.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.067

# 江西省双季稻田三熟制种植模式综合效益评价

周海波,付江凡,王长松

(江西省农业科学院农业经济与信息研究所,江西南昌 330200)

**摘要:**基于江西省水田不同种植模式视角,从双季稻田三熟制不同的种植模式入手,从经济效益、生态效益和社会效益的角度考虑,利用田间试验数据,采用群决策方法,建立综合评价指标体系,确定出各种种植模式综合效益优劣。结果表明,绿肥—稻—稻、薯—稻—稻的种植模式表现出较好的经济效益和较高的生态效益,薯—稻—稻、油菜—稻—稻的种植模式表现出较好的社会效益。就综合效益而言,绿肥—稻—稻和薯—稻—稻的种植模式优于其他模式。

**关键词:**双季稻田;三熟制;种植模式;综合效益评价;江西稻区

**中图分类号:** F326.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)04-0294-06

针对江西省种植模式较单一,特别是种植制度年间复种模式较少、资源利用效率不高、耕地和环境质量下降以及农业生产资料投入高、利用率低,导致资源浪费、环境污染、产投比小等问题,江西省农业科学院在全省通过多年科学试验,总结出油菜—稻—稻、绿肥—稻—稻、菜—稻—稻、薯—稻—稻等多种高效种植模式,以提升双季稻种植的综合效益。本研究以提升江西省双季稻+冬季作物的光、温、水、土等自然资源利用效率以及耕地质量、产量、经济效益为根本,利用 2015—2017 年江西省双季稻田三熟制种植模式的试验数据,在该地区自然资源、市场、社会等背景下,从经济效益、生态效益、社会效益 3 个方面对上述存在的种植模式进行综合评价,以期双季稻田三熟制种植模式在江西省的推广提供理论和实践依据,为江西省现代农业转型升级提供发展方向。

## 1 研究内容与评价方法

### 1.1 研究内容与研究思路

本研究以冬闲—稻—稻模式为对照,共选取 5 种水稻种植模式:冬闲—稻—稻、油菜—稻—稻、绿肥—稻—稻、菜—稻—稻、薯—稻—稻<sup>[1-2]</sup>进行分析。冬闲—稻—稻处理晚稻收获后不再种植作物;油菜—稻—稻处理冬季填闲作物为油菜,品种为国油五号;绿肥—稻—稻模式中“绿肥”采用紫云英;菜—稻—稻冬季填闲作物为蚕豆,品种为当地常规种,薯—稻—稻冬季填闲作物为马铃薯,品种为荷兰十五。

依据江西省现代农业发展的高效、生态目标和构建原则,对江西省种植模式进行归纳和整理,分析江西省农业与农作制发展的现状特点和主要问题,根据评价指标体系,对现有种植模式进行综合比较,筛选出种植模式的发展优先顺序和发

展战略,提出江西省现代农业转型升级高效种植模式的发展方向。

### 1.2 评价方法

本研究的综合评价采用群决策方法,即将与决策有关的元素分解成目标、准则和方案层层层次,并在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。该方法的具体评价步骤如下。

首先确定被评价对象(即决策方案集) $A^i(i=1,\cdots,n)$ ,得出根据各准则 $l=1,\cdots,p$ 的排序矩阵:

$$B_l' = \begin{bmatrix} a_{1l}^1 & a_{1l}^2 & \cdots & a_{1l}^n \\ a_{2l}^1 & a_{2l}^2 & \cdots & a_{2l}^n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{ml}^1 & a_{ml}^2 & \cdots & a_{ml}^n \end{bmatrix}, l=1,\cdots,p。$$

式中:元素 $a_{jl}^i$ 表示委员会成员中 $i$ 根据准则 $l$ 对备选对象 $j(j=1,\cdots,m)$ 的评价, $m$ 为备选对象数量。根据 $B_l'$ ,可以计算群中各成员对各备选对象在准则 $l$ 下的 Borda 分,即在矩阵各列中,性能值最佳的备选对象得 $m-1$ 分,性能为第 2 位的得 $m-2$ 分,依次类推,最差的候选对象得 0 分<sup>[3]</sup>。准则 $l$ 即使是无法定量的准则,如道德水平等,各委员根据印象为各候选人排序,给出准则 $l$ 下的 Borda 分亦非难事<sup>[3]</sup>。在各委员根据准则 $l$ 为各候选对象打分之后,计算候选对象 $j$ 的总得分 $b_{jl}$ 。

$$b_{jl} = \sum_{i=1}^n a_{jl}^i, j=1,\cdots,m。$$

由 $b_{jl}(j=1,\cdots,m)$ 的大小,可以排定各候选人优劣次序 $k(k=1,\cdots,m)$ 并定义一致性矩阵 $\Pi^l = \{\pi_{jk}^l\}$ , $\Pi^l$ 是一个 $m \times m$ 的非负矩阵,其中的元素为 $\pi_{jk}^l$ ;当 $b_{jl}$ 候选对象 $j$ 被排在 $k$ 位时, $\pi_{jk}^l = 1$ ,否则 $\pi_{jk}^l = 0$ ,因此 $\Pi^l$ 中每行(或每列)有 1 个元素也只有 1 个元素为 1,其余均为 0。

为了反映准则重要性的差别,可以对各准则加权,设权向量 $W = \{w_1, \cdots, w_p\}$ ,且

$$\sum_{l=1}^p w_l = 1, w_l > 0 (l=1,\cdots,p)。$$

根据 $\Pi^l$ 和 $W$ ,可以计算群的加权一致性矩阵 $G = \{g_{jk}\}$ ,其中

收稿日期:2018-06-05

基金项目:江西农业科研协同创新项目子课题(编号:JXXTCX2015003-002);江西省协同创新项目(编号:JXXTCX201801-01)的阶段性研究成果。

作者简介:周海波(1981—),男,湖北麻城人,硕士,副研究员,主要从事农业经济研究。E-mail:375998280@qq.com。

通信作者:王长松,硕士,研究实习员,主要从事数量经济研究。Tel:(0791)87090359;E-mail:274001322@qq.com。

$$g_{jk} = \sum_{l=1}^p \pi_{jk}^l w_l, j, k = 1, \dots, m。$$

为通过  $G$  求得候选对象  $j$  的排序,可以求解如下线性规划问题<sup>[4]</sup>:

$$\max \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m g_{jk} x_{jk}。$$

受约束于:

$$\sum_{j=1}^m x_{jk} = 1; k = 1, \dots, m;$$

$$\sum_{k=1}^m x_{jk} = 1; j = 1, \dots, m。$$

该问题的解  $x_{jk} = 1$ , 表示候选对象  $j$  应处于第  $k$  位。

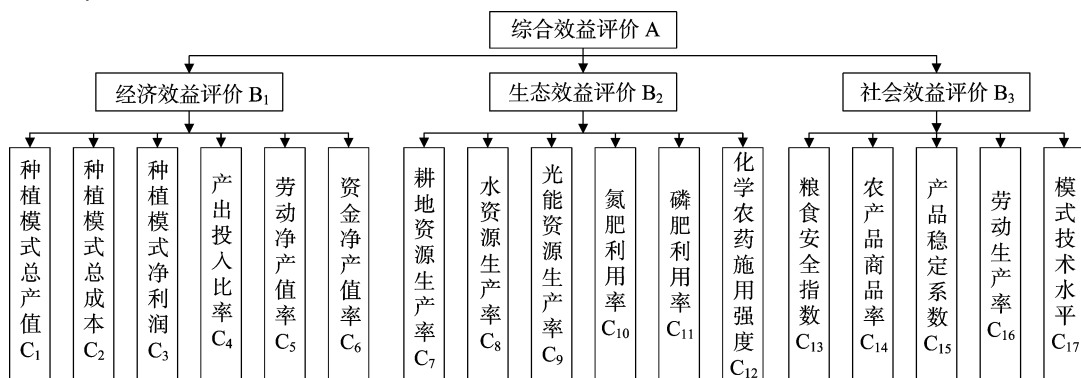


图1 高效种植模式综合效益评价体系

**1.3.1 经济效益评价指标** 经济效益的多少是农民衡量评价种植模式的重要指标,如果忽视种植模式经济效益,再好的种植模式也得不到农民的实施。以经济效益( $B_1$ )作为准则,选择与经济效益密切相关的种植模式总产值( $C_1$ )、种植模式总成本( $C_2$ )、种植模式净利润( $C_3$ )、产出投入比率( $C_4$ )、劳动净产值( $C_5$ )和资金净产值率( $C_6$ )作为评价经济效益的方案<sup>[6-7]</sup>。

(1)种植模式总产值( $C_1$ ):单位面积获得的所有产品的产值。计算公式为

$$\text{总产值} = \text{产量} \times \text{价格}。$$

(2)种植模式总成本( $C_2$ ):单位面积生产所需的全部费用,包括物质费用、人工成本和土地成本。计算公式为

$$\text{总成本} = \text{物质费用} + \text{人工成本} + \text{土地成本}。$$

(3)种植模式净利润( $C_3$ ):所有产品的总产值减去生产过程中投入总成本后的余额。计算公式为

$$\text{净利润} = \text{总产值} - \text{总成本}。$$

(4)产出投入比率( $C_4$ ):单位成本所取得的经济效益。计算公式为

$$\text{产出投入} = \text{总产值} / \text{总成本}。$$

(5)劳动净产值率( $C_5$ ):劳动净产值率是影响农民是否选择从事农业生产的一个重要因素。计算公式为

$$\text{劳动净产值率} = \text{种植模式净利润} / \text{单位面积人工成本}。$$

(6)资金净产值率( $C_6$ ):农业生产在单位面积土地上人工成本投入所取得的经济效益,其值越大表示该模式发展越有优势。计算公式为

$$\text{资金净产值率} = \text{总产值} / \text{人工成本}。$$

**1.3.2 生态效益评价指标** 随着资源约束的趋紧、生态环境恶化趋势的加重,生态效益成为种植模式评价的重要指标。

### 1.3 相关指标参数选取依据

首先,以综合效益(A)为总目标,以经济效益( $B_1$ )、生态效益( $B_2$ )、社会效益( $B_3$ )作为准则层,以种植模式总产值、种植模式总成本等17项指标作为方案层构建江西省现代农业评价指标体系;其次,在评价指标体系的基础上,通过试验获得种植模式总产值、种植模式总成本等17项数据,根据相关指标对不同模式的优劣进行排序;最后,根据各指标优劣排序来确定经济效益( $B_1$ )、生态效益( $B_2$ )、社会效益( $B_3$ )的优劣顺序,然后利用群决策方法进行综合效益评价,并根据综合效益大小确定各模式的综合优劣<sup>[5-6]</sup>。根据以上分析建立的指标体系见图1。

以生态效益( $B_2$ )作为准则,选择耕地资源生产率( $C_7$ )、水资源生产率( $C_8$ )、光能资源生产率( $C_9$ )、氮肥利用率( $C_{10}$ )、磷肥利用率( $C_{11}$ )和化学农药施用强度( $C_{12}$ )作为评价生态效益的方案<sup>[8-9]</sup>。

(1)耕地资源生产率( $C_7$ ):耕地资源生产率的高低是衡量农业生产能否高效利用耕地资源的决定性指标。计算公式为

耕地资源生产率 = 某种模式下作物单位面积产量/该作物单一种植的单位面积平均产量。

(2)水资源生产率( $C_8$ ):消耗单位水资源所得经济产量。水资源生产率的高低对种植模式的可持续发展具有重要的影响。计算公式为

$$\text{水资源生产率} = \text{总产量} / \text{总用水量}。$$

(3)光能资源生产率( $C_9$ ):所有经济作物产量蕴含的热能值与全年太阳总辐射能的比值<sup>[7]</sup>。计算公式为

$$\text{光能资源生产率} = \text{某种植模式作物产量} \times \text{作物的单位经济产量的热能值} / \text{全年太阳总辐射能}。$$

(4)氮肥利用率( $C_{10}$ ):单位面积产量中的氮含量与总施氮量的比值。

(5)磷肥利用率( $C_{11}$ ):单位面积产量中的磷含量与总施磷量的比值。

(6)化学农药施用强度( $C_{12}$ ):农药的使用量越大对环境造成的危害就越大,将农业生产中的农药施用量折算成金额,以金额大小来表示对环境产生的危害<sup>[8]</sup>。

**1.3.3 社会效益评价指标** 社会效益是指最大限度地利用有限资源满足社会上人们日益增长的物质文化需求。本研究主要是指在农业种植生产过程中,以有限的劳动资源和技术水平投入来满足社会对粮食的数量需求、质量需求以及安全

需求。因此,以社会效益( $B_5$ )作为准则,选择粮食安全指数( $C_{13}$ )、农产品商品率( $C_{14}$ )、产品稳定系数( $C_{15}$ )、劳动生产率( $C_{16}$ )和模式技术水平( $C_{17}$ )作为评价社会效益的方案<sup>[10]</sup>。

(1)粮食安全指数( $C_{13}$ ):单位面积粮食生产力对保障国家安全、社会稳定所起的作用。计算公式为

粮食安全指数=(种植模式单位面积粮食产量-保证我国粮食安全所需耕地资源单位面积平均产量)/保证我国粮食安全所需耕地资源单位面积平均产量。

(2)农产品商品率( $C_{14}$ ):本年度生产的产品在下一生产年度同种产品开始收获之前通过各种渠道出售的数量占本年度产量的比率。农产品商品率越高,越具备优势<sup>[11]</sup>。计算公式为

农产品商品率=(总产量-平均消耗量)/总产量。

(3)产品稳定系数( $C_{15}$ ):一定时期内种植模式的产品波动稳定性。计算公式为

产品稳定系数=1-产品波动性指数。

(4)劳动生产率( $C_{16}$ ):目前,农村劳动力供需不平衡状况日益加剧,采用取得总产值所需用工量来衡量种植模式的劳动生产率。计算公式为

劳动生产率=种植模式的年均用工量/总产值。

(5)模式技术水平( $C_{17}$ ):不断通过使用先进的农业技术来代替落后的农业技术,进而促进农业生产力的发展。技术

的推广难易程度、可靠性、先进性是衡量该模式技术水平的重要因素,体现了新农业技术进行生产的水平<sup>[12]</sup>。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式的产投统计

令冬闲—稻—稻、绿肥—稻—稻、油菜—稻—稻、薯—稻—稻、菜—稻—稻种植模式分别为 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$ 。为科学采集数据,建立 68 m<sup>2</sup>(4 m×17 m)的试验田,随机排列,每个试验田重复处理,所有种植模式的处理标准均一致。

2.2 不同种植模式的经济效益比较分析

依据当地农产品的价格,采用田间试验数据,结合种植模式总产值( $C_1$ )、种植模式总成本( $C_2$ )、种植模式净利润( $C_3$ )、产出投入比率( $C_4$ )、劳动净产值率( $C_5$ )和资金净产值率( $C_6$ )等多个指标的定义和计算公式,得到经济效益下方案层的优劣顺序。

(1)当地市场价格数据显示,水稻价格约为 1.35 元/kg,油菜价格约为 4.2 元/kg,马铃薯价格约为 1.2 元/kg,蚕豆价格约为 1.4 元/kg。水稻产量根据不同的处理方法,有不同的产量;不同模式下其他作物产量也有所不同。根据市场价格和产量计算各种种植模式的总产值。

由表 1 可知,从总产值角度,各种种植模式的优劣顺序为 $a_4 > a_3 > a_2 > a_5 > a_1$ 。

表 1 不同种植模式下作物的产量及总产值

处理	早稻产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	晚稻产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	双季产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	其他作物产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	总产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	总产值 (元/hm <sup>2</sup> )	排序
$a_1$	5 838.45	7 563.75	13 402.20	0	13 402.20	18 092.97	5
$a_2$	6 941.25	8 487.75	15 429.00	0	15 429.00	20 829.15	3
$a_3$	6 579.45	8 242.65	14 822.10	900	15 722.10	23 789.84	2
$a_4$	6 339.90	7 997.55	14 337.45	10 500	24837.45	31 955.56	1
$a_5$	6 379.35	8 130.45	14 509.80	225	14 734.80	19 903.23	4

(2)从成本的角度来看,试验所使用的单位土地成本一致,因此本研究不考虑土地成本。每种种植模式都有早稻和晚稻,对早稻和晚稻的试验手段相同,由于分析的是各种种植模式成本优劣,而各种种植模式的早稻和晚稻成本相同,因此只须对比冬闲、绿肥、油菜、薯、菜的成本,即可得出不同种植模式的成本优劣。

由表 2 可以得出,从种植模式总成本角度,各种种植模式的优劣顺序为 $a_1 > a_2 > a_5 > a_3 > a_4$ 。

表 2 不同种植模式的成本

模式	人工成本 (元/hm <sup>2</sup> )	物质成本 (元/hm <sup>2</sup> )	总成本 (元/hm <sup>2</sup> )	排序
$a_1$	4 515.45	5 850.59	10 366.04	1
$a_2$	4 665.47	6 150.62	10 816.08	2
$a_3$	7 335.73	6 600.66	13 936.39	4
$a_4$	5 280.53	12 751.28	18 031.80	5
$a_5$	5 955.60	6 450.65	12 406.24	3

(3)根据净利润的计算公式,由表 1、表 2 计算得到不同种植模式的净利润。

由表 3 可以得出,从种植模式净利润角度,各种种植模式的优劣顺序为 $a_4 > a_2 > a_3 > a_1 > a_5$ 。

(4)根据产出投入比率、劳动净产值率、资金净产值率的

表 3 不同种植模式的净利润

模式	总产值 (元/hm <sup>2</sup> )	总成本 (元/hm <sup>2</sup> )	净利润 (元/hm <sup>2</sup> )	排序
$a_1$	18 092.97	10 366.04	7 726.93	4
$a_2$	20 829.15	10 816.08	10 013.07	2
$a_3$	23 789.84	13 936.39	9 853.45	3
$a_4$	31 955.56	18 031.80	13 923.76	1
$a_5$	19 903.23	12 406.24	7 496.99	5

计算公式,由表 1、表 2 计算得到不同种植模式的产出投入比率、劳动生产率、资金净产值率。

由表 4 可以得出,从产出投入比率角度,各种种植模式的优劣顺序为 $a_2 > a_4 > a_1 > a_3 > a_5$ ;从劳动净产值率角度,各种种植模式的优劣顺序为 $a_4 > a_2 > a_1 > a_3 > a_5$ ;从资金净产值率角度,各种种植模式的优劣顺序为 $a_4 > a_2 > a_1 > a_5 > a_3$ 。

2.3 不同种植模式生态效益比较

根据生态效益( $B_2$ )的方案层耕地资源生产率( $C_7$ )、水资源生产率( $C_8$ )、光能资源生产率( $C_9$ )、氮肥利用率( $C_{10}$ )、磷肥利用率( $C_{11}$ )和化学农药施用强度( $C_{12}$ )等多个指标的定义及其计算公式,得到生态效益下方案层的优劣顺序。

(1)根据耕地资源生产率的定义和计算公式,结合表 1

表 4 不同种植模式的产出投入比率、劳动生产率、资金产值率统计

模式	产出投入比率		劳动净产值率		资金净产值率	
	数值(%)	排序	数值(%)	排序	数值(%)	排序
$a_1$	174.54	3	171.12	3	400.69	3
$a_2$	192.58	1	214.62	2	446.45	2
$a_3$	170.70	4	134.32	4	324.30	5
$a_4$	177.22	2	263.68	1	605.16	1
$a_5$	160.43	5	125.88	5	334.19	4

不同种植模式的总产量,将冬闲模式的水稻总产量 13 402.20 kg/hm<sup>2</sup> 作为单一种植的单位面积平均产量,计算得到  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$  的耕地资源生产率分别为 100.00%、115.12%、117.31%、185.32%、109.94% (表 5)。从耕地资源生产率角度,各种植模式的优劣顺序为  $a_4 > a_3 > a_2 > a_5 > a_1$ 。

表 5 不同种植模式的耕地资源生产率

模式	水稻平均产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	其他平均产 量(kg/hm <sup>2</sup> )	总产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	耕地资源 生产率(%)	排序
$a_1$	13 402.20	0	13 402.2	100.00	5
$a_2$	15 429.00	0	15 429.0	115.12	3
$a_3$	14 822.10	900	15 722.1	117.31	2
$a_4$	14 337.45	10 500	24 837.5	185.32	1
$a_5$	14 509.80	225	14 734.8	109.94	4

(2) 从田间试验数据可知,水稻单位面积用水量为 12 001.20 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,马铃薯单位面积用水量为 4 200.42 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,蚕豆单位面积用水量为 4 275.43 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。由于油菜根系发达耐旱性强,能在土壤肥力差、气候干旱的条件下栽培,因此认为不需人工灌溉。将冬闲模式的水稻总产量(13 402.20 kg/hm<sup>2</sup>)作为单一种植的单位面积平均产量,所以  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$  的水资源生产率分别为 116.67%、128.56%、148.50%、153.30%、90.53% (表 6)。由此得出,从水资源生产率角度,各种植模式的优劣顺序为  $a_4 > a_3 > a_2 > a_1 > a_5$ 。

表 6 不同种植模式的水资源利用率

模式	总产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	水稻 用水量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	其他作物 用水量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	总用水量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	水资源 生产率 (%)	排序
$a_1$	13 402.20	12 001.2	0	12 001.20	111.67	4
$a_2$	15 429.00	12 001.2	0	12 001.20	128.56	3
$a_3$	15 722.10	12 001.2	0	12 001.20	148.50	2
$a_4$	24 837.45	12 001.2	4 200.42	16 201.62	153.30	1
$a_5$	14 734.80	12 001.2	4 275.43	16 276.63	90.53	5

(3) 从光能资源生产率来看,结合食物的热量表可知,大米的热量为 14 340 kJ/kg,油菜的热量为 960 kJ/kg,马铃薯的热量为 3 180 kJ/kg,蚕豆的热量为 14 000 kJ/kg。根据相关资料可知,水稻所需的日照时长约为 2 600 h,紫云英所需的日照时长约为 1 200 h,油菜所需的日照时长约为 2 690 h,马铃薯所需的日照时长约为 1 000 h,蚕豆所需的日照时长约为 2 600 h<sup>[12]</sup>。根据表 1 或表 5 可知各种植模式下不同作物的产量,代入光能资源生产率公式计算得出, $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$  的光能资源生产率分别为 21.68、20.35、19.43、26.89、19.63。由此可以得出,从光能资源生产率角度,各种植模式的优劣顺序为  $a_4 > a_1 > a_2 > a_5 > a_3$ 。

(4) 从氮肥利用率和磷肥利用率的角度来看,根据试验数据得到作物成分表。根据不同种植模式的需要,施用不同的化肥量,其中施用氮肥总量为 22、22、32、37、27 kg/667 m<sup>2</sup>;施磷肥总量为 5.28、5.28、7.04、11.88、13.33 kg/667 m<sup>2</sup>。根据表 7 并折算化肥的施用量可知,可得  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$  的氮肥利用率分别为 5.32%、6.45%、4.25%、3.54%、4.67%。由此可以得出,氮肥利用率的优劣顺序为  $a_2 > a_1 > a_5 > a_3 > a_4$ 。

表 7 不同种植模式的作物成分含量

处理	全氮含量 (g/kg)	有机质含量 (g/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	总产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
$a_1$	1.17	26.2	21.6	55.3	13 402.20
$a_2$	1.42	27.5	23.5	56.7	15 429.00
$a_3$	1.36	26.8	25.1	57.2	15 722.10
$a_4$	1.31	27.1	26.1	56.4	24 837.45
$a_5$	1.26	24.3	23.4	55.8	14 734.80

同理可知,计算可得, $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$  的磷肥利用率分别为 0.000 41%、0.000 45%、0.000 36%、0.000 22%、0.000 18%。由此可以得出,磷肥利用率的优劣顺序为  $a_2 > a_1 > a_3 > a_4 > a_5$ 。

(5) 从化学农药施用强度来看,根据田间试验数据可知, $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$  的单位面积农药施用量折合金额分别为 750、750、1 050、2 250、1 500 元/hm<sup>2</sup>。由此可以得出,从化学农药施用强度角度,各种植模式的优劣顺序为  $a_1 = a_2 > a_3 > a_5 > a_4$ 。

2.4 不同种植模式社会效益比较

根据社会效益( $B_3$ )的方案层粮食安全指数( $C_{13}$ )、农产品商品率( $C_{14}$ )、产品稳定系数( $C_{15}$ )、劳动生产率( $C_{16}$ )和模式技术水平( $C_{17}$ )等多个指标的定义和计算公式,并结合相关数据得到社会效益下方方案层的优劣顺序。

(1) 根据粮食安全指数的定义和计算公式,结合表 5 中的总产量和 2020 年保障国家粮食安全主要指标中的粮食单产水平 350 kg/667 m<sup>2</sup> 可得, $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$  的粮食安全指数分别为 155.28%、193.89%、199.47%、373.01%、180.66%。由此可以得出,从粮食安全指数角度,各种植模式的优劣顺序为  $a_4 > a_3 > a_2 > a_5 > a_1$ 。

(2) 将人均粮食占有量 350 kg 作为每家消耗粮食的平均量<sup>[14]</sup>,利用表 5 中的总产量减去每家消耗粮食的平均量即得当年度粮食销售量,从而计算得到, $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$  农产品商品率分别为 60.83%、65.97%、66.60%、78.86%、64.37%。从农产品商品率角度,各种植模式的优劣顺序为  $a_4 > a_3 > a_2 > a_5 > a_1$ 。

(3) 根据产品的波动性指数来计算产品稳定系数,据调查,水稻的波动性指数为 0.3,则稳定系数为 0.7;油菜的波动性指数为 0.5,则稳定系数为 0.5;马铃薯的波动性指数为 0.5,则稳定系数为 0.5;蚕豆的波动性指数为 0.7,则稳定系数为 0.3。那么  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$  的产品稳定系数分别为 0.490、0.490、0.245、0.245、0.147。由此可以得出,从农产品商品率角度,各种植模式的优劣顺序为  $a_1 = a_2 > a_3 = a_4 > a_5$ 。

(4) 根据表 2、表 3 中不同模式的总产值和人工成本计算

劳动生产率,计算可得不同种植模式劳动生产率分别为 24.96%、22.40%、30.84%、16.52%、29.92%。由此可以得出,从劳动生产率角度,不同种植模式的优劣顺序为  $a_3 > a_5 > a_1 > a_2 > a_4$ 。

(5)通过咨询专家,建议专家通过打分(1~10 分)进行评价, $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$  的得分分别为 5、7、6、8、9 分。由此可

以得出,从模式技术水平角度,各种种植模式的优劣顺序为  $a_5 > a_4 > a_2 > a_3 > a_1$ 。

2.5 种植模式的综合效益评价  
综合经济效益、生态效益和社会效益评价指标,可得冬闲—稻—稻( $a_1$ )、绿肥—稻—稻( $a_2$ )、油菜—稻—稻( $a_3$ )、薯—稻—稻( $a_4$ )、菜—稻—稻( $a_5$ )的优劣顺序(表 8)。

表 8 双季稻田三熟制种植模式优劣顺序

目标层	一级指标	二级指标	优劣顺序
综合效益评价(A)	经济效益评价(B <sub>1</sub> )	种植模式总产值(C <sub>1</sub> )	$a_4 > a_3 > a_2 > a_5 > a_1$
		种植模式总成本(C <sub>2</sub> )	$a_1 > a_2 > a_5 > a_3 > a_4$
		种植模式净利润(C <sub>3</sub> )	$a_4 > a_2 > a_3 > a_1 > a_5$
		产出投入比率(C <sub>4</sub> )	$a_2 > a_4 > a_1 > a_3 > a_5$
		劳动净产值率(C <sub>5</sub> )	$a_4 > a_2 > a_1 > a_3 > a_5$
		资金净产值率(C <sub>6</sub> )	$a_4 > a_2 > a_1 > a_5 > a_3$
	生态效益评价(B <sub>2</sub> )	耕地资源生产率(C <sub>7</sub> )	$a_4 > a_3 > a_2 > a_5 > a_1$
		水资源生产率(C <sub>8</sub> )	$a_4 > a_3 > a_2 > a_1 > a_5$
		光能资源生产率(C <sub>9</sub> )	$a_4 > a_1 > a_2 > a_5 > a_3$
		氮肥利用率(C <sub>10</sub> )	$a_2 > a_1 > a_5 > a_3 > a_4$
		磷肥利用率(C <sub>11</sub> )	$a_2 > a_1 > a_3 > a_4 > a_5$
		化学农药施用强度(C <sub>12</sub> )	$a_1 = a_2 > a_3 > a_5 > a_4$
	社会效益评价(B <sub>3</sub> )	粮食安全指数(C <sub>13</sub> )	$a_4 > a_3 > a_2 > a_5 > a_1$
		农产品商品率(C <sub>14</sub> )	$a_4 > a_3 > a_2 > a_5 > a_1$
		产品稳定系数(C <sub>15</sub> )	$a_1 = a_2 > a_3 = a_4 > a_5$
		劳动生产率(C <sub>16</sub> )	$a_3 > a_5 > a_1 > a_2 > a_4$
		模式技术水平(C <sub>17</sub> )	$a_5 > a_4 > a_2 > a_3 > a_1$

为对几种种植模式的优劣进行总体评估,首先对 5 种植模式的经济效益、生态效益、社会效益进行评价,计算 Borda 分,确定一致性矩阵,然后求解线性规划问题,得到综合效益评价排序。具体过程及结果如下。

(1)首先,对准则层经济效益( $B_1$ ),有

$$B_1' = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} 5 & 1 & 4 & 3 & 3 & 3 \\ 3 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 4 & 3 & 4 & 2 & 5 \\ 1 & 5 & 1 & 2 & 4 & 1 \\ 4 & 3 & 5 & 5 & 5 & 4 \end{bmatrix}。$$

由  $B_1'$ ,可得 Borda 分矩阵

$$B_1 = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 4 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 3 & 3 & 4 & 4 & 3 \\ 3 & 1 & 2 & 1 & 3 & 0 \\ 4 & 0 & 4 & 3 & 1 & 4 \\ 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{总得分为 } B_1 = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} 11 \\ 19 \\ 10 \\ 16 \\ 4 \end{bmatrix}。$$

根据得分最高的模式最优、排在首位的原则,由准则经济效益可得,各模式的群排序为  $a_2 > a_4 > a_1 > a_3 > a_5$ 。根据群排序确定的一致性矩阵为

$$\Pi^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

(2)其次,对准则层生态效益( $B_2$ ),有

$$B_2' = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} 5 & 4 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 3 & 3 & 3 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 5 & 4 & 3 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 5 & 4 & 5 \\ 4 & 5 & 4 & 3 & 5 & 3 \end{bmatrix}。$$

由  $B_2'$ ,可得 Borda 分矩阵

$$B_2 = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 3 & 3 & 1 & 4 \\ 2 & 2 & 2 & 4 & 4 & 4 \\ 3 & 3 & 0 & 1 & 2 & 2 \\ 4 & 4 & 4 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 2 & 0 & 2 \end{bmatrix}, \text{总得分为 } B_2 = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} 15 \\ 18 \\ 11 \\ 13 \\ 6 \end{bmatrix}。$$

根据得分最高的模式最优、排在首位的原则,由准则生态效益可得,各模式的群排序为  $a_2 > a_1 > a_4 > a_3 > a_5$ 。根据群排序可令一致性矩阵为

$$\Pi^2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

(3)然后,对准则层社会效益( $B_3$ ),有

$$B_3' = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} 5 & 5 & 1 & 3 & 5 \\ 3 & 3 & 1 & 4 & 3 \\ 2 & 2 & 3 & 1 & 4 \\ 1 & 1 & 3 & 5 & 2 \\ 4 & 4 & 5 & 2 & 1 \end{bmatrix}。$$

由  $B_3'$ ,可得 Borda 分矩阵

$$B_3 = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 4 & 2 & 0 \\ a_2 & 2 & 2 & 4 & 1 & 2 \\ a_3 & 3 & 3 & 2 & 4 & 1 \\ a_4 & 4 & 4 & 2 & 0 & 3 \\ a_5 & 1 & 1 & 0 & 3 & 4 \end{bmatrix}, \text{总得分为 } B_3 = \begin{bmatrix} a_1 & 6 \\ a_2 & 11 \\ a_3 & 13 \\ a_4 & 13 \\ a_5 & 9 \end{bmatrix}。$$

根据得分最高的模式最优、排在首位的原则,由准则社会效益可得,各模式的群排序是  $a_4 = a_3 > a_2 > a_5 > a_1$ 。由于  $a_3$ 、 $a_4$  的 Borda 总分均为 13 分,2 模式之间无差异,根据群排序可令一致性矩阵为

$$\Pi^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}。$$

(4)最后,得到加权一致性矩阵为

$$G = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & w_2 & w_1 & 0 & w_3 \\ a_2 & w_1 + w_2 & 0 & w_3 & 0 & 0 \\ a_3 & 0.5w_3 & 0.5w_3 & 0 & w_1 + w_2 & 0 \\ a_4 & 0.5w_3 & w_1 + 0.5w_3 & w_2 & 0 & 0 \\ a_5 & 0 & w_3 & 0 & w_3 & w_1 + w_2 \end{bmatrix}。$$

设 17 位专家协商同意后取  $W = (0.33, 0.34, 0.33)$ , 则

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0.34 & 0.33 & 0 & 0.33 \\ 0.67 & 0 & 0.33 & 0 & 0 \\ 0.165 & 0.165 & 0 & 0.67 & 0 \\ 0.165 & 0.495 & 0.34 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0.67 \end{bmatrix}。$$

由此可以解得群对各模式的排序为

$${}_c a_2 > {}_c a_4 > {}_c a_1 > {}_c a_3 > {}_c a_5$$

综上所述,在双季稻田三熟制高效模式研究中,综合效益评价优劣顺序为绿肥—稻—稻( $a_2$ ) > 薯—稻—稻( $a_4$ ) > 冬闲—稻—稻( $a_1$ ) > 油菜—稻—稻( $a_3$ ) > 菜—稻—稻( $a_5$ )。

### 3 讨论

从经济效益的角度来看,冬种作物的油菜—稻—稻、绿肥—稻—稻、菜—稻—稻、薯—稻—稻种植的早晚稻产量均明显高于冬闲—稻—稻模式,绿肥—稻—稻( $a_2$ )、薯—稻—稻( $a_4$ )、冬闲—稻—稻( $a_1$ )整体表现出较好的经济效益。绿肥—稻—稻( $a_2$ )经济效益高主要受种植模式总成本较低、种植模式净利润较高和劳动净产率较高的影响;薯—稻—稻( $a_4$ )经济效益高主要受种植模式总产值较高、种植模式净利润较高和资金净产值率较高的影响;油菜—稻—稻( $a_3$ )经济效益高主要受种植模式总成本较低、产出投入比率较高和劳动净产率较高的影响。

从生态效益的角度来看,薯—稻—稻( $a_4$ )、绿肥—稻—稻( $a_2$ )、冬闲—稻—稻( $a_1$ )整体表现出较高的生态效益。绿肥—稻—稻( $a_2$ )生态效益较高主要受氮肥利用率高、磷肥利用率高和化学农药施用强度小的影响;冬闲—稻—稻( $a_1$ )生态效益较高主要受光能资源生产率、氮肥利用率、磷肥利用率

高的影响;薯—稻—稻( $a_4$ )生态效益较高主要受耕地资源生产率、水资源生产率、光能资源生产率高的影响。

从社会效益的角度来看,薯—稻—稻( $a_4$ )、油菜—稻—稻( $a_3$ )整体表现出较好的社会效益。薯—稻—稻( $a_4$ )社会效益较高主要受粮食安全指数高、农产品商品率高模式技术水平优的影响;油菜—稻—稻( $a_3$ )社会效益较高主要受粮食安全指数高、农产品商品率高、劳动生产率高的影响。

### 4 结论

从综合评价指标来看,绿肥—稻—稻和薯—稻—稻稻田三熟制模式不仅能够提高水稻种植的经济效益,其综合效益也明显高于江西省传统的冬闲—稻—稻种植模式和一季稻种植模式,特别是绿肥—稻—稻模式综合效益最好,但在具体的绿肥品种上须根据不同的种植条件进行选择,该模式在江西省推广具有很高的可行性。薯—稻—稻也具有较好的经济效益和社会效益,综合效益也表现良好,可因地制宜的进行推广。

### 参考文献:

- [1] 杨滨娟,黄国勤,陈洪俊,等. 稻田复种轮作模式的生态经济效益综合评价[J]. 中国生态农业学报,2016,24(1):112-120.
- [2] 周志明. 绿肥种植利用效益评价和空间发展预测研究[D]. 北京:中国农业大学,2016:13-15.
- [3] 马基伟. 政府管理创新与经济发展软环境研究[D]. 北京:北京交通大学,2009:48-50.
- [4] 徐莉,张轶斐,张斌,等. 基于混合型的多属性群决策法的综合能源系统效益评价研究[J]. 工业技术经济,2014(3):52-57.
- [5] 孙红滨,陈彤. 南疆三地州粮棉果高效种植模式综合效益评价[J]. 新疆农业科学,2013,50(12):1937-1945.
- [6] Chen C C, Bekkerman A, Afshar R K, et al. Intensification of dryland cropping systems for bio-feedstock production: evaluation of agronomic and economic benefits of *Camelina sativa* [J]. Industrial Crops and Products, 2015, 71:114-121.
- [7] 郭予琦. 陕县农业结构调整及其对粮食生产、农民收入的影响研究[D]. 北京:中国农业大学,2004:21-25.
- [8] 王晓杰. 基于比较优势理论的江苏省种植模式优势度评价[D]. 南京:南京农业大学,2011:45-46.
- [9] Snapp S S, Swinton S M, Labarta R, et al. Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches [J]. Agronomy Journal, 2005, 97(1):322-332.
- [10] 王晓杰,陈卫平,王静,等. 基于比较优势理论的农作模式优势度评价[J]. 江苏农业科学,2012,40(2):318-321.
- [11] 范成方,史建民. 基于熵权的粮食种植效益综合评价——以山东省玉米、小麦为例[J]. 中国农业资源与区划,2015,36(3):39-47.
- [12] 韩昕君,陈源泉,王丽霞,等. 河北中南部平原棉薯套作种植模式综合效益初步评价[J]. 中国农业大学学报,2014,19(5):46-54.
- [13] 黎跃勇,黄继红,邹胤,等. 双季优质稻规模种植高产稳产气象条件及防灾减灾技术[J]. 湖南农业科学,2014(6):44-48.
- [14] 封志明. 中国未来人口发展的粮食安全与耕地保障[J]. 人口研究,2007,31(2):15-29.