

DOI: 10.13872/j.1000-0275.2016.0038

王珊珊, 张广胜. 农户低碳生产行为评价指标体系构建及应用 [J]. 农业现代化研究, 2016, 37(4): 641-648.

Wang S S, Zhang G S. Construction and application of evaluation index system for low-carbon production behaviors of rural households[J]. Research of Agricultural Modernization, 2016, 37(4): 641-648.



农户低碳生产行为评价指标体系构建及应用

王珊珊¹, 张广胜²

(1. 山东农业大学经济管理学院, 山东 泰安 271018; 2. 沈阳农业大学经济管理学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘要: 从微观层面构建农户低碳生产行为评价指标体系, 有助于引导农户进行低碳生产, 从而为制定和实施更有精准性的低碳农业发展政策提供依据。从生产要素碳排放、生态效应和经济效益 3 个方面构建了农户低碳生产行为评价指标体系, 分别基于层次分析法和碳足迹核算的生命周期评价法确定了指标权重, 并根据综合评价指数划分了低碳等级。在此基础上, 对辽宁省辽中县水稻种植户生产行为低碳化程度进行了评价。结果表明, 碳生产率是评价农户低碳生产行为的最重要指标, 其次是氮肥施用强度、土地生产率和秸秆利用率。综合评价指数平均值处于中碳区间, 70% 左右的农户属于中碳生产, 20% 左右的农户达到近低碳等级, 10% 左右的农户处于较高碳区间, 即中碳生产占主体地位。准则层中, 经济效益准则层指数较低, 生产要素碳排放和生态效应准则层指数相对较高; 指标层中, 劳动生产率、成本收益率和有机肥施用率的标准化值较低。由此提出, 促进农户低碳生产须着力提高生产要素使用效率和经济效益, 同时重视农业废弃物资源化利用, 提高农业生产的生态效应。

关键词: 农业低碳生产; 碳排放; 农户行为; 评价指标体系; 层次分析法 (AHP)

中图分类号: F323

文献标识码: A

文章编号: 1000-0275 (2016) 04-0641-08

Construction and application of evaluation index system for low-carbon production behaviors of rural households

WANG Shan-shan¹, ZHANG Guang-sheng²

(1. College of Economics and Management, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China;

2. College of Economics and Management, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China)

Abstract : To construct an evaluation index system of rural households' low-carbon production behaviors is critical to guide farmers to pursue low-carbon production practices and help the government to form practical supporting policies. Applying the analytic hierarchy process (AHP) and life circle assessment method, this paper constructs an evaluation index system of rural households' low-carbon production behaviors from three aspects of production, including factor carbon emission, ecological effect and economic benefit and applies to analyze rural households' low-carbon production behaviors of rice farmers in Liaozhong County, Liaoning Province. Results indicate that carbon productivity is the most important indicator to evaluate rural households' low-carbon production behaviors, followed by the intensity of nitrogen fertilizer, land productivity and straw usage ratio. Sample analysis results also show that the average comprehensive evaluation index is in medium-carbon interval. About 70% of the rural households belong to medium-carbon production, 20% belong to near low-carbon production, and 10% belong to higher-carbon production, indicating that medium-carbon production dominates in agriculture. In addition, economic benefit index is lower, and production factor carbon emission and ecological effect index are relatively higher. Among the index layers, labor productivity, cost-benefit ratio and the application rate of organic fertilizer are lower. To encourage rural households to pursue low-carbon production practices, government's efforts should focus on enhancing the usage efficiency and economic benefits of agricultural production factors. In the meantime, it is necessary to recycle agricultural waste and to enhance ecological effects of agricultural production.

Key words : agricultural low-carbon production; carbon emission; rural household behaviors; evaluation index system; the analytic hierarchy process (AHP)

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71303162, 71503148); 教育部新世纪优秀人才支持计划 (NCET-12-1014)。

作者简介: 王珊珊 (1982-), 女, 山东临沂人, 博士, 博士后, 讲师, 主要从事资源与环境经济研究, E-mail: wangshanshan@sdaa.edu.cn; 通讯作者:

张广胜 (1970-), 男, 河南信阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事农业经济理论与政策研究, E-mail: gzhang@syau.edu.cn。

收稿日期: 2015-11-03, **接受日期:** 2016-03-24

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (71303162, 71503148); Program for New Century Excellent Talents in University (NCET-12-1014).

Corresponding author: ZHANG Guang-sheng, E-mail: gzhang@syau.edu.cn.

Received 3 November, 2015; **Accepted** 24 March, 2016

低碳农业是低碳经济在农业中的体现形式,是农业应对气候变化和保障能源安全,推进节能减排固碳,实现可持续发展的必然选择。中国的农业生产在过去三十多年发生了较大变化,现代机械、能源、生物技术等科技手段在农业中广泛应用,专业大户、家庭农场、农民合作社等新型经营主体不断涌现。但是,家庭经营的小型农户仍然是农业生产的主体。这使得中国农业产业的低碳发展必须依靠众多小农户的参与。在微观层面上提高农户生产行为低碳化程度,促使广大农户进行低碳生产,成为宏观层面上实现农业低碳发展的关键。由于低碳生产方式是一种新的农业生产方式和发展理念,人们对其不甚了解,而对于农户层次的低碳生产行为更是如此。因此,针对微观农户的农业生产过程构建农户低碳生产行为评价指标体系,并对不同生产方式下农户生产行为低碳化程度进行评价,有助于引导农户认识、掌握、采用低碳生产方法、技术和经营模式,提高农户生产行为低碳化程度,促进农业生产向低碳方向发展。

目前关于低碳农业综合评价的研究主要集中在宏观层面的低碳农业发展水平或低碳农业效益评价上,如骆旭添等^[1]以闽北地区为例,从经济效益、生态效益、社会效益 3 个方面构建了低碳农业效益评价体系,结果显示,该地区取得了良好的综合效益;谢淑娟等^[2]从农业生产要素产出效率、能源利用低碳化水平、农业生产方式低碳化水平、农业碳汇效应 4 个维度构建指标体系,并对广东省进行了评价,结果表明,2006-2010 年广东省低碳农业发展水平处于从较高碳向中碳迈进的阶段;钟婷婷等^[3]从农业生产要素投入水平、经济发展水平、能源利用低碳化水平和社会投入水平 4 个方面构建省域低碳农业发展水平评价指标体系,结果显示,海南、北京、上海等省域低碳农业发展水平较高,湖北、甘肃、江西等省域较低;陈瑾瑜和张文秀^[4]从社会发展、经济发展、农业减排、环境安全 4 个方面构建低碳农业综合评价指标体系,并以四川省为例进行了评价,结果表明,四川省低碳农业自 2002 年起得到了快速发展,其整体水平高于全国。此外,众多学者研究了循环农业等可持续发展模式的综合评价,如李波等^[5]从经济与社会发展、资源减量投入、资源循环利用、资源环境安全 4 个方面构建出湖北省循环农业发展的评价指标体系;韩玉等^[6]梳理了近年来中国循环农业评价研究的概况,将其划分为国家/区域层面和园区/企业层面 2 类。然而,关于微观层面的农户低碳生产行为综合评价指标体

系的研究还鲜有文献发表。学者们多以单项指标代表农户低碳生产行为,如侯博和应瑞瑶^[7]以主动参加低碳生产培训和采用沼气池技术、田云等^[8]以低于标准或按标准施用化肥和使用农药、杨红娟和徐梦菲^[9]以碳排放量低于平均数作为低碳生产行为,缺少多层次多维度的综合评价。因此,有必要构建合理有效的农户低碳生产行为综合评价指标体系,以便科学评价农户生产行为的低碳化程度,促进我国农业生产方式低碳转型。

本文基于低碳农业的内涵、特征及我国农业生产基本国情和碳源碳汇现状,借鉴宏观层面的低碳农业发展水平等相关评价指标及循环农业、生态农业、有机农业等其他较成熟的农业可持续发展模式的评价体系,采用层次分析法和生命周期评价法相结合的方法构建种植业农户低碳生产行为评价指标体系和确定指标权重,并根据综合评价指数划分出 5 个低碳化程度等级。在此基础上以辽宁省辽中县水稻种植户为例评价了农户生产行为低碳化程度,以实现低碳农业综合评价由定性分析向定量分析、由宏观视角向微观视角的转变,从而为今后制定和实施更有精准性的低碳农业发展政策、更好实现国家低碳农业战略提供依据。

1 农户低碳生产行为评价指标体系构建的基本思路

低碳经济的主要特征是低能耗、低排放和低污染^[10]。对农业而言,除能源消耗和碳排放水平低外,低碳农业还应是一种生态高值农业模式^[11-12]。因此,农户低碳生产行为评价指标的选取既应考虑能源资源低消耗和温室气体低排放,还应考虑生态环境友好化和经济效益高值化。据此,选取评价指标时,首先应从生命周期角度确定碳排放指标,即原料燃料碳排放—生产过程碳排放—废弃物处理碳排放;其次,应从生态环保角度选取反映农业生态效应的指标;最后,从经济效益角度选取反映农业生产效益的指标。

综合上述分析,构建农户低碳生产行为评价指标体系的总体思路应包括以下方面:

一是从碳排放、生态效应和经济效益等多角度构建。与传统农业发展模式相比,低碳农业的最显著特点是强调在农业生产经营过程中排放最少的温室气体,实现生态与经济协调统一和可持续发展。因此,评价指标体系应涵盖碳排放、生态效应和经济效益等多方面。

二是根据各准则层的特点选取具体指标和确定

权重。碳排放准则层只考虑能源和化学品等生产要素引起的碳排放，具体指标选取农用化学品和能源消耗量。由于每种碳源都有相应的碳排系数，碳排放量可由碳源数量和碳排系数准确计算^[13]，因此该准则层各指标权重是确定的，可根据碳排系数计算得到。生态效应准则层的指标选取主要从农业可持续发展和碳汇角度考虑，经济效益准则层的指标选取主要从生产要素产出效率角度考虑，均可通过层次分析法、德尔菲法等方法确定指标权重。

三是投入指标与产出指标结合使用。评价指标的选取既应考虑产出角度的低碳化水平，如碳生产率；也应考虑投入角度的低碳化水平，如农业生产中电力对柴油的替代；既应考虑碳排总量，也应考虑经营规模，避免专业大户因经营规模大、碳排总量大而造成“高碳”假象；既应涵盖影响碳排放水平的指标，如化肥施用强度；也应涵盖影响农田可持续利用和碳吸收水平的指标，如有机肥施用强度。

2 研究方法

2.1 评价指标的选取

根据上述评价指标体系构建的基本思路，结合我国农业生产基本情况，本文构建了一个包含3大类指标和13个二级指标的农户低碳生产行为评价指标体系(表1)。该评价指标体系共分为3个层次：第一层为目标层，即农户低碳生产行为综合评价结果，从整体上反映一个农户生产行为低碳化程度，其由准则层各项综合指标加以体现；第二层为准则层，包括农业生产要素碳排放、生态效应和经济效益3个子系统，分别由指标层各二级指标反映其运行状态和发展趋势；第三层为指标层，由于单个农户在种植业，尤其是粮食生产中使用的农药和农膜数量相对较少且不易准确量化，因此本文未将其纳入指标体系，即生产要素碳排放中的化学品碳排放只考虑化肥。

表1 农户低碳生产行为评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of rural households' low-carbon production behaviors

准则层	指标层	指标符号	指标释义	指标方向
生产要素碳排放 (B_1)	氮肥施用强度 (kg/hm^2)	C_{11}	氮肥施用折纯量 / 播种面积	负
	磷肥施用强度 (kg/hm^2)	C_{12}	磷肥施用折纯量 / 播种面积	负
	钾肥施用强度 (kg/hm^2)	C_{13}	钾肥施用折纯量 / 播种面积	负
	单位面积柴油消耗量 (kg/hm^2)	C_{14}	柴油消耗量 / 播种面积	负
	单位面积汽油消耗量 (kg/hm^2)	C_{15}	汽油消耗量 / 播种面积	负
	单位面积电力消耗量 ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{hm}^2$)	C_{16}	电力消耗量 / 播种面积	负
生态效应 (B_2)	秸秆利用率 (%)	C_{21}	秸秆利用量 / 秸秆总产量	正
	有机肥施用强度 (t/hm^2)	C_{22}	有机肥施用量 / 播种面积	正
	农膜回收率 (%)	C_{23}	农膜回收量 / 农膜使用量	正
经济效益 (B_3)	土地生产率 (元 / hm^2)	C_{31}	主产品收益 / 播种面积	正
	劳动生产率 (元 / 人)	C_{32}	主产品收益 / 务农人数	正
	碳生产率 (元 / kgCO_2e)	C_{33}	主产品收益 / 碳排放量	正
	成本收益率 (%)	C_{34}	主产品收益 / 成本费用	正

2.2 生产要素碳排放参数

本文将生产要素碳排放限定为化肥和能源引起的碳排放。农户在农业生产过程中消耗的能源主要是柴油、汽油和电力。机械耕整、种植和大型机械收割使用柴油，小型机械收割使用汽油，人工灌溉使用电力或柴油。

根据 IPCC 2006 年的指南，水田 N_2O 排放系数为 $0.0047 \text{ kgN}_2\text{O}/\text{kgN}$ ；柴油的碳排系数为 $3.16 \text{ kgCO}_2/\text{kg}$ (或 $2.65 \text{ kgCO}_2/\text{L}$)，汽油的碳排系数为 $3.01 \text{ kgCO}_2/\text{kg}$ (或 $2.17 \text{ kgCO}_2/\text{L}$)，电力的碳排系数为 $0.80 \text{ kgCO}_2/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。根据 West 和 Marland^[14] 的研究，化肥隐含 CO_2 排放系数为：氮肥 (N) $3.1 \text{ kgCO}_2/\text{kg}$ ，磷肥 (P_2O_5) $0.61 \text{ kgCO}_2/\text{kg}$ ，钾肥 (K_2O) $0.44 \text{ kgCO}_2/\text{kg}$ 。利用

全球增温潜势 (GWP) 将不同温室气体统一折算为二氧化碳当量 (CO_2e) 进行度量，其中 $\text{GWP}_{\text{CO}_2}=1$ ， $\text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}=298$ 。综合 N_2O 和隐含碳排放，氮肥的碳排系数为 $4.50 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{kg}$ ，磷肥和钾肥的碳排系数分别为 $0.61 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{kg}$ 和 $0.44 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{kg}$ 。

2.3 指标权重的确定

农户低碳生产行为评价指标体系中各指标的内涵不同，其对评价结果的影响也不同，需根据各指标的重要性确定权重值的大小。其中，生产要素碳排放量可直接准确计量，即评价指标体系中准则层 B_1 的各二级指标权重值可准确测算，通过相应的碳排系数适当变换即可。而一级指标权重及 B_2 和 B_3 的二级指标权重难以直接准确计量。此时，层次分

析法这种定性与定量分析相结合的多目标决策分析方法是适合的方法。本文将分别基于层次分析法和碳足迹核算的生命周期评价法确定各指标权重。

准则层及生态效应、经济效益下辖二级指标的权重确定采用两两比较层次分析法。以上一层指标为准则,比较两指标的相对重要性,整理成判断矩阵。根据各判断矩阵进行各层次单排序计算及一致性检验,继而进行总排序计算以及一致性检验。

农户低碳生产行为评价体系的一级指标包括生

产要素碳排放、生态效应和经济效益,构建的一级判断矩阵见表 2,生态效应准则层的二级判断矩阵见表 3,经济效益准则层的二级判断矩阵见表 4。

表 2 农户低碳生产行为综合评价的一级判断矩阵

Table 2 First class judgment matrix				
准则层	生产要素碳排放 (B_1)	生态效应 (B_2)	经济效益 (B_3)	权重 (W)
B_1	1	2	1	0.400 0
B_2	1/2	1	1/2	0.200 0
B_3	1	2	1	0.400 0

表 3 生态效应准则层的二级判断矩阵

Table 3 Second class judgment matrix of ecological effect

生态效应指标	秸秆利用率 (C_{21})	有机肥施用强度 (C_{22})	农膜回收率 (C_{23})	相对权重	绝对权重
C_{21}	1	2	3	0.539 6	0.107 9
C_{22}	1/2	1	2	0.296 9	0.059 4
C_{23}	1/3	1/2	1	0.163 5	0.032 7

表 4 经济效益准则层的二级判断矩阵

Table 4 Second class judgment matrix of economic benefit

经济效益指标	土地生产率 (C_{31})	劳动生产率 (C_{32})	碳生产率 (C_{33})	成本收益率 (C_{34})	相对权重	绝对权重
C_{31}	1	2	1/2	3	0.271 9	0.108 8
C_{32}	1/2	1	1/3	2	0.157 0	0.062 8
C_{33}	2	3	1	5	0.482 9	0.193 1
C_{34}	1/3	1/2	1/5	1	0.088 2	0.035 3

由氮肥、磷肥、钾肥、柴油、汽油和电力的碳排放系数得到生产要素碳排放各二级指标的相对权重分别为 0.359 4、0.048 7、0.035 2、0.252 4、0.240 4 和 0.063 9,绝对权重分别为 0.143 8、0.019 5、0.014 1、0.101 0、0.096 1 和 0.025 5。

从各项指标的绝对权重看,农户低碳生产行为评价指标体系中,碳生产率(C_{33})的权重最高,即碳生产率对农户低碳生产行为评价的影响是最大的,权重占到了 0.193 1。其次是氮肥施用强度(C_{11})、土地生产率(C_{31})和秸秆利用率(C_{21}),权重分别为 0.143 8、0.108 8 和 0.107 9。

由此可以得出如下判断,提高农户生产行为低碳化程度应更加重视提高其碳生产率、土地生产率和秸秆利用率,降低其氮肥施用强度,而这些方面是目前各地农户普遍需要加强的。对于从事种植业生产的广大农户来说,只有提高碳生产率和土地生产率,降低氮肥施用强度和有效利用秸秆,才有可能达到较高的低碳化程度,才可以称得上是低碳生产行为。

2.4 指标数据的标准化处理与综合合成

由于农户低碳生产行为各评价指标的含义不同,量纲各异,数值范围的差别也很大,原始数据之间缺乏可比性。通过对数据的标准化处理,消除

不同指标量纲之间的差异,各指标便具有了一定可比性。

评价指标可分为两类:一是对农户低碳生产行为有正向影响的指标,该类指标数值越大,表明农户生产行为低碳化程度越高;二是对农户低碳生产行为有负向影响的指标,该类指标数值越小,表明农户生产行为低碳化程度越高。

针对上述两类指标,本文参考陈瑾瑜和张文秀^[4]、辛岭和王济民^[15]的研究,对原始数据作如下处理:

$$Z_k = \frac{X_k - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (\text{当 } X_k \text{ 起正向作用时})$$

$$Z_k = \frac{X_{\max} - X_k}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (\text{当 } X_k \text{ 起负向作用时})$$

式中: Z_k 为第 k 个样本某项指标的标准化值, X_k 为第 k 个样本某项指标的原始值; $X_{\max}$ 为某项指标的最大值, $X_{\min}$ 为某项指标的最小值。

在设计出农户低碳生产行为评价指标体系并确定指标权重后,构建农户生产行为低碳化程度综合评价模型组。该评价模型组包括农户生产行为低碳化程度综合评价总模型(A)及3个子系统模型,

具体为生产要素碳排放子系统模型 B_1 、生态效应子系统模型 B_2 和经济效益子系统模型 B_3 。参照辛岭和王济民^[15]关于农业现代化发展水平综合评价模型的表达方式, 本文将农户生产行为低碳化程度综合评价模型组表示为:

$$A = \sum_{i=1}^n W_i B_i$$

$$B_i = \sum_{j=1}^m W_{ij} Z_{ij}$$

式中: A 为任一农户生产行为低碳化程度综合评价指数; W_i 为准则层指标的权重, B_i 为准则层指数, n 为准则层指标个数; W_{ij} 为指标层指标的相对权重, Z_{ij} 为指标层指标的标准化值, m 为指标层指标个数。

2.5 农户生产行为低碳化程度的衡量标准

本文借鉴谢淑娟等^[2]设定的低碳农业发展水平等级评价标准, 结合调查区实际情况和样本户特征, 以综合评价指数在 0.8 及以上为较强低碳, 以 0.6-0.8 之间为近低碳, 以 0.4-0.6 之间为中碳, 以 0.2-0.4 之间为较高碳, 以 0.2 以下为高碳。准则层和指标层的等级划分也采用这一标准。

准则层指数是评价农户生产行为各项子系统低碳化程度的依据, 同时也是评价农户生产行为低碳化综合程度的参考依据。本文按照上述综合评价指数等级划分标准将准则层指数同样划分为较强低碳、近低碳、中碳、较高碳和高碳 5 个等级。如果某项准则层指数为较强低碳或近低碳, 则可认为该项子系统低碳化程度较高。单项指标的评价或比较也采用上述标准, 根据指标的标准化值划分为 5 个等级。

如果综合评价指数为较强低碳或近低碳, 且各准则层指数均为中碳及以上等级, 则可视为较全面的(近)低碳生产; 如果综合评价指数为较强低碳或近低碳, 但存在较高碳或高碳的准则层, 则视为不全面或存在短板的(近)低碳生产。如果综合评价指数为中碳, 且各准则层指数均为中碳及以上等级, 则视为发展程度较高的中碳生产。

3 数据来源与指标特征

3.1 数据来源

本文数据来源于 2012 年 5 月对辽宁省辽中县稻农的抽样调查。辽宁省辽中县是全国粮食生产基地县, 水稻是其种植面积最大的农作物。本次调查使用问卷法, 采用分层随机抽样方式, 首先根据经济状况和农民人均纯收入抽取 3 个乡镇, 继而根据

距离乡镇驻地远近在每个乡镇抽取 1-2 个村, 最后考虑村庄人口规模和务农人口规模在每个村随机抽取 10-30 户。调查共获得 118 份问卷, 经过数据筛选、审核和整理, 用于本文分析的水稻种植户为 108 户, 有效样本率为 91.53%。

3.2 指标特征

生产要素碳排放指标中, 氮肥、磷肥、钾肥施用强度平均值分别为 160.55 kg/hm²、83.59 kg/hm²、112.86 kg/hm², 最大值分别为 327.75 kg/hm²、120.00 kg/hm²、227.25 kg/hm², 最小值分别为 75.75 kg/hm²、31.50 kg/hm²、33.75 kg/hm²。样本户水稻生产中, 机械耕整、种植、大型机械收割和柴油灌溉使用的是柴油, 小型机械收割消耗汽油, 只在电力灌溉中使用电力。调查区主要是雇佣机械进行农机作业, 单位面积能耗量基本不变; 人工灌溉的能耗量略有变化, 但户间差距不大。参考王珊珊和张广胜^[16]的研究, 农机作业的能耗量取固定值: 机械耕整统一按 60 L/hm² 柴油量, 即 50.40 kg/hm²; 机械插秧按 15 L/hm² 柴油量, 即 12.60 kg/hm²; 大型机械收割按 30 L/hm² 柴油量, 即 25.20 kg/hm²; 小型机械收割按 15 L/hm² 汽油量, 即 10.80 kg/hm²; 人工灌溉能耗量取样本户的平均值: 灌溉一季水稻统一按 225 L/hm² 柴油量, 即 189 kg/hm²; 电力灌溉的按 900 kW·h/hm² 电力。经计算, 样本户单位面积柴油消耗量的平均值为 163.22 kg/hm², 最大值为 277.20 kg/hm², 最小值为 50.40 kg/hm²; 单位面积汽油和电力消耗量的平均值分别为 3.20 kg/hm² 和 433.33 kW·h/hm²。

样本户的秸秆处理方式主要包括丢弃、露天焚烧、作燃料、作饲料、秸秆还田、编织草帘和出售 7 种。丢弃和露天焚烧为零利用, 生态化利用系数取 0; 秸秆还田、编织草帘、作饲料和出售 4 种利用方式的生态化程度较高, 生态化利用系数取 1; 作燃料是一种传统利用方式, 其生态化程度较低, 生态化利用系数取 0.5。样本户秸秆利用率平均值为 65.49%, 最大值为 100%, 最小值为 0。由于有机肥施用种类、计量单位等各不相同, 因此本文用是否施用有机肥代替有机肥施用强度指标。施用有机肥则该项指标为 1, 否则为 0。调查中, 施用有机肥的农户有 38 户, 其中 37 户施用农家肥, 1 户施用商品有机肥; 未施用的有 70 户, 有机肥施用比例为 35.19%。调查区农户只在育秧过程中使用地膜, 一般都是反复使用 3-4 年。考虑到部分农户采用全程机械化服务, 自家不直接育秧, 而自家育秧农户均反复使用地膜, 因此本文农膜回收率指标均取 1。

经济效益指标中, 样本户水稻单产平均值为 8 695.83 kg/hm², 销售价格平均值为 2.82 元/kg, 单位面积主产品经济收益即土地生产率平均值为 24 524.57 元/hm², 最大值和最小值分别为 33 750.00 元/hm² 和 18 000.00 元/hm²。水稻种植面积平均值为 1.77 hm², 主产品总收益平均值为 43 535.22 元, 务农人数平均值为 2.39 人, 单位务农人员主产品经济收益即劳动生产率平均值为 19 598.83 元/人, 最大值和最小值分别为 162 000 元/人和 1 260 元/人。由能源和化肥引起的碳密度平均值为 1 695.29 kgCO₂e/hm², 单位碳排放量主产品经济收益即碳生产率平均值为 14.81 元/kgCO₂e, 最大值和最小值分别为 22.28 元/kgCO₂e 和 8.96 元/kgCO₂e。化肥费平均值为 2 504.44 元/hm², 农药和种子费平均值为 1 075.00 元/hm², 机械和雇工费平均值为 4 403.47 元/hm², 好地的租地成本平均值为 9 275.00 元/hm², 中等地和差地的租地成本平均值为 6 547.06 元/hm²。物质、土地、机械服务与雇工费用合计值的平均值为

15 608.47 元/hm²; 成本收益率平均值为 159.65%, 最大值和最小值分别为 291.40% 和 93.39%。

4 结果与分析

4.1 综合评价指数和准则层指数的评价

从综合评价指数看, 样本户水稻种植生产行为总体上处于中碳水平。低碳生产行为综合评价指数的平均值为 0.516 6, 最大值和最小值分别为 0.776 4 和 0.265 7 (表 5)。

从准则层指数的平均值看, 生产要素碳排放指数较高, 经济效益指数较低。生产要素碳排放指数的平均值为 0.608 4, 处于近低碳区间, 乘以权重后为 0.243 4, 最大值和最小值分别为 0.877 9 和 0.205 0; 生态效应指数的平均值为 0.621 3, 处于近低碳区间, 乘以权重后为 0.124 3, 最大值和最小值分别为 1 和 0.163 5; 经济效益指数的平均值为 0.372 3, 处于较高碳区间, 乘以权重后为 0.148 9, 最大值和最小值分别为 0.759 2 和 0.015 4。

表 5 综合评价指数和准则层指数的统计特征

Table 5 Statistical characteristics of comprehensive evaluation index and rule layer index

评价指数	均值	最大值	最小值	标准差	离散系数
综合评价指数	0.516 6	0.776 4	0.265 7	0.094 3	0.182 5
生产要素碳排放指数	0.608 4	0.877 9	0.205 0	0.160 1	0.263 1
生态效应指数	0.621 3	1.000 0	0.163 5	0.227 8	0.366 6
经济效益指数	0.372 3	0.759 2	0.015 4	0.136 5	0.366 7

从各项评价指数分布的离散程度看, 综合评价指数和生产要素碳排放指数分布较集中, 生态效应和经济效益指数分布相对离散。其中, 综合评价指数的离散系数为 0.182 5, 生产要素碳排放指数的离散系数为 0.263 1, 生态效应和经济效益指数的离散系数分别为 0.366 6 和 0.366 7。

4.2 综合评价指数和准则层指数的分布

从综合评价指数的分布看, 21 户农户低碳生产行为综合评价指数在 0.6-0.8 之间 (表 6), 即 19.44% 的农户为近低碳; 其中, 19 户农户的各项准则层指数均在中碳及以上, 即较全面的近低碳生

产。77 户在 0.4-0.6 之间, 即 71.30% 的农户为中碳; 其中, 20 户农户的各项准则层指数均在中碳及以上, 即发展程度较高的中碳生产。10 户在 0.2-0.4 之间, 即 9.26% 的农户为较高碳。这一结果比较符合当前我国农业生产实际。

从准则层指数的分布看, 样本户生产要素碳排放和生态效应指数主要处在近低碳和中碳区间, 经济效益指数主要在较高碳和中碳区间。17 户农户生产要素碳排放指数在 0.8 及以上, 39 户在 0.6-0.8 之间, 41 户在 0.4-0.6 之间, 11 户在 0.2-0.4 之间, 即生产要素碳排放处于较强低碳、近低碳、中碳和较

表 6 综合评价指数和准则层指数的分布

Table 6 Distribution of comprehensive evaluation index and rule layer index

评价指数	综合评价指数		生产要素碳排放		生态效应		经济效益	
	户数 (户)	比例 (%)	户数 (户)	比例 (%)	户数 (户)	比例 (%)	户数 (户)	比例 (%)
[0,0.2)	0	0.00	0	0.00	3	2.78	10	9.26
[0.2,0.4)	10	9.26	11	10.19	10	9.26	53	49.07
[0.4,0.6)	77	71.30	41	37.96	38	35.18	39	36.11
[0.6,0.8)	21	19.44	39	36.11	38	35.18	6	5.56
[0.8,1]	0	0.00	17	15.74	19	17.60	0	0.00
合 计	108	100.00	108	100.00	108	100.00	108	100.00

高碳的农户比例分别为 15.74%、36.11%、37.96% 和 10.19%。19 户农户生态效应指数在 0.8 及以上, 38 户在 0.6-0.8 之间, 38 户在 0.4-0.6 之间, 10 户在 0.2-0.4 之间, 3 户低于 0.2, 即生态效应处于较强低碳、近低碳、中碳、较高碳和高碳的农户比例分别为 17.60%、35.18%、35.18%、9.26% 和 2.78%。6 户农户经济效益指数在 0.6-0.8 之间, 39 户在 0.4-0.6 之间, 53 户在 0.2-0.4 之间, 10 户低于 0.2, 即经济效益处于近低碳、中碳、较高碳和高碳的农户比例分别为 5.56%、36.11%、49.07% 和 9.26%。

从指标层指标的标准化值看, 平均值在近低碳区间的指标包括单位面积汽油消耗量、氮肥施用强度和秸秆利用率, 分别为 0.703 7、0.663 5 和 0.654 9; 平均值在中碳区间的指标包括钾肥施用强度、单位面积电力消耗量、单位面积柴油消耗量、碳生产率、土地生产率和磷肥施用强度, 分别为 0.591 1、0.518 5、0.502 6、0.439 5、0.414 3 和 0.411 5; 平均值在较高碳区间的指标包括有机肥施用率和成本收益率, 分别为 0.351 9 和 0.334 7; 样本户劳动生产率指标的标准化值平均为 0.114 1, 在高碳区间。

5 结论与启示

5.1 结论

对于种植业而言, 提高农户生产行为低碳化程度首先应提高其碳生产率, 这是评价农户低碳生产行为的最重要指标。其次是氮肥施用强度、土地生产率和秸秆利用率, 这 4 项指标在农户低碳生产行为综合评价中的权重份额超过 55%。

当前种植业中, 中碳生产占主体地位。样本户低碳生产行为综合评价指数的平均值为 0.516 6, 即种植业农户生产行为总体上处于中碳水平; 70% 左右农户低碳生产行为综合评价指数在 0.4-0.6, 即中碳; 另有约 20% 农户达到了近低碳水平, 其余约 10% 农户为较高碳。经济效益和生态效应是种植业农户低碳生产行为的相对薄弱环节。劳动生产率、成本收益率等经济效益指标得分较低, 表明生产要素使用效率有待提高; 其次, 秸秆利用率、有机肥施用率等生态效应指标得分也不高, 尤其是有机肥施用率仅为 35.19%, 说明资源环境可持续利用方面也有待加强。

由于研究范围和样本数据等限制, 还存在如下需要进一步讨论的问题。第一, 本指标体系是针对种植业生产过程构建的, 可用于评价种植业农户生产行为的低碳化程度。由于畜牧业生产过程与种植业差距较大, 该指标体系难以应用于畜牧业。对畜

牧业农户低碳生产行为的评价需有一套专门的评价指标体系, 有待更多学者关注和研究。第二, 低碳农业作为一种新型农业发展模式, 目前尚未在任何一个国家得到实现, 因此本文构建的农户低碳生产行为评价指标体系只是对农户生产行为低碳化程度评价的一种探索。在评价指标的选取、指标权重的确定、数据的标准化处理、指标值的综合合成等方面是否科学、合理, 还有待进一步检验。

5.2 启示

第一, 提高农户生产行为低碳化程度, 必须着力提高农业生产要素使用效率和经济效益, 包括碳生产率、劳动生产率、土地生产率和成本收益率等。从提高单位生产要素经济效益角度安排农业生产, 一方面节约使用能源资源, 降低农业生产要素碳排放; 另一方面提高产出水平, 增加产量和收入。

第二, 促进农业废弃物资源化利用, 提高农业生产的生态效应。一方面探索经济便捷的农作物秸秆综合利用技术, 有效利用农作物秸秆等农业废弃物; 另一方面建立种植户与养殖户、种植户与加工企业等经济主体之间的合作关系, 促进农作物秸秆、畜禽粪便等农业废弃物资源化和生态化利用。

参考文献:

- [1] 骆旭添, 吴则焰, 陈婷, 等. 闽北地区低碳农业效益综合评价体系的构建与应用[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(6): 1444-1447.
Luo X T, Wu Z Y, Chen T, et al. Construction and application of comprehensive benefit evaluation system on low carbon agriculture in North Fujian[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(6): 1444-1447.
- [2] 谢淑娟, 匡耀求, 黄宁生, 等. 低碳农业评价指标体系的构建及对广东的评价[J]. 生态环境学报, 2013, 22(6): 916-923.
Xie S J, Kuang Y Q, Huang N S, et al. Study on construction and application of evaluation index system of low-carbon agriculture in Guangdong[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(6): 916-923.
- [3] 钟婷婷, 郑晶, 廖福霖, 等. 省域低碳农业发展水平评价研究[J]. 福建农林大学学报(哲学社会科学版), 2014, 17(6): 43-46.
Zhong T T, Zheng J, Liao F L, et al. Evaluation on the development of provincial low carbon agriculture[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Philosophy and Social Sciences), 2014, 17(6): 43-46.
- [4] 陈瑾瑜, 张文秀. 低碳农业发展的综合评价——以四川省为例[J]. 经济问题, 2015(2): 101-104.
Chen J Y, Zhang W X. Comprehensive evaluation of development for low carbon agriculture: Taking Sichuan Province as an example[J]. On Economics Problems, 2015(2): 101-104.
- [5] 李波, 张俊飏, 李海鹏. 湖北省循环农业发展状况评价与政策建议[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(1): 69-72.
Li B, Zhang J B, Li H P. Evaluation of cyclic agriculture development and policy suggestions in Hubei Province[J].

- Research of Agricultural Modernization, 2008, 29(1): 69-72.
- [6] 韩玉, 龙攀, 陈源泉, 等. 中国循环农业评价体系研究进展 [J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(9): 1039-1048.
- Han Y, Long P, Chen Y Q, et al. Research progress of evaluation system for China cyclic agriculture development[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(9): 1039-1048.
- [7] 侯博, 应瑞瑶. 分散农户低碳生产行为决策研究——基于 TPB 和 SEM 的实证分析 [J]. 农业技术经济, 2015(2): 4-13.
- Hou B, Ying R Y. Study on decentralized farmers' low-carbon production behavior decision—An empirical analysis based on TPB and SEM[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2015(2): 4-13.
- [8] 田云, 张俊飏, 何可, 等. 农户农业低碳生产行为及其影响因素分析——以化肥施用和农药使用为例 [J]. 中国农村观察, 2015(4): 61-70.
- Tian Y, Zhang J B, He K, et al. Analysis on farmers' agricultural low-carbon production behavior and its influencing factors—Taking chemical fertilizer and pesticide usage as examples[J]. China Rural Survey, 2015(4): 61-70.
- [9] 杨红娟, 徐梦菲. 少数民族农户低碳生产行为影响因素分析 [J]. 经济问题, 2015(6): 90-94.
- Yang H J, Xu M F. The analysis of influencing factors on low-carbon production behavior of minority farmers[J]. On Economics Problems, 2015(6): 90-94.
- [10] 付加锋, 庄贵阳, 高庆先. 低碳经济的概念辨识及评价指标体系构建 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(8): 38-43.
- Fu J F, Zhuang G Y, Gao Q X. Conceptual identification and evaluation index system for low carbon economy[J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(8): 38-43.
- [11] 赵其国, 钱海燕. 低碳经济与农业发展思考 [J]. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1609-1614.
- Zhao Q G, Qian H Y. Low carbon economy and thinking of agricultural development[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(5): 1609-1614.
- [12] 梁龙, 杜章留, 吴文良, 等. 北京现代都市低碳农业的前景与策略 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(2): 130-136.
- Liang L, Du Z L, Wu W L, et al. Prospect and strategy for low-carbon agriculture development in modern city of Beijing[J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(2): 130-136.
- [13] 张广胜, 王珊珊. 中国农业碳排放的结构、效率及其决定机制 [J]. 农业经济问题, 2014(7): 18-26.
- Zhang G S, Wang S S. China's agricultural carbon emission: Structure, efficiency and its determinants[J]. Issues in Agricultural Economy, 2014(7): 18-26.
- [14] West T O, Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002, 91: 217-232.
- [15] 辛岭, 王济民. 我国县域农业现代化发展水平评价——基于全国 1980 个县的实证分析 [J]. 农业现代化研究, 2014, 35(6): 673-678.
- Xin L, Wang J M. Evaluation on agricultural modernization level of China's counties—Based on empirical analysis of nationwide 1980 counties[J]. Research of Agricultural Modernization, 2014, 35(6): 673-678.
- [16] 王珊珊, 张广胜. 非农就业对农户碳排放行为的影响研究——来自辽宁省辽中县的证据 [J]. 资源科学, 2013, 35(9): 1855-1862.
- Wang S S, Zhang G S. The impact of off-farm employment on the agricultural carbon emission behavior of farmers[J]. Resources Science, 2013, 35(9): 1855-1862.

(责任编辑: 童成立)