

湖北水稻化肥减施增效技术应用耦合协调分析

吴照红¹ 李宁辉² 马朝红³ 花文元¹ 冉秦¹ 吴道宁¹ 罗良国¹¹

(1. 农业清洁流域创新团队, 中国农业科学院农业环境与

可持续发展研究所, 北京 100081;

2. 中国农业科学院 农业经济与发展研究所, 北京 100081;

3. 湖北省农业科学院 植保土肥研究所, 湖北 武汉 430064)

【摘要】: 以“十三五”国家重点研发计划“化肥农药减施增效技术应用及评估研究项目”期间研发应用的水稻化肥减施增效技术为评估对象, 运用专家组多重相关性赋权法、耦合协调度模型对湖北省水稻化肥减施增效技术体系与项目目标体系、环境体系、经济效益体系进行耦合分析。结果表明: 化肥减施增效技术体系与环境体系的耦合度最高, 与目标体系的耦合度次之, 与经济效益体系的耦合度较为不稳定; 而耦合协调度分析结果与耦合度类似。建议后续推广中进一步强化化肥减施增效技术应用对实现化肥减量、稳产和增效的贡献与稳定性的考量, 防御减施增效技术可能带来土壤质量退化的风险。

【关键词】: 化肥减施增效技术 耦合度 耦合协调度 水稻

【中图分类号】 F326.1; S147.21 **【文献标识码】** A

耦合, 是由两个或两个以上主体之间的物理关系衍生而来的概念。关于耦合理论的应用研究起步于二十世纪七十年代, Weick(1976) 首先将耦合理论引入社会经济问题研究中, 探讨学校的各组成员之间彼此独立又相互联系的关系。任继周(1994)对耦合的概念进行界定, 他认为耦合是两个或两个以上的具有相似性质的系统之间, 在达到一定条件时形成新的物质交流和能量循环, 并结合成为更高级的结构功能体的现象。耦合理论的研究内容主要包括耦合特征、耦合机理、耦合效应以及耦合程度等方面。近年来, 耦合理论由原先的定性研究逐渐转变为定量的判别系统或系统要素之间相互作用关系的研究, 主要利用耦合协调度模型对系统或系统要素之间的耦合程度进行度量与评价。耦合分析是一种新的系统集成方法。它既能集成分析来自空间层面、时间层面、组织层面的社会、环境数据, 也能集成来自社会科学和自然科学多学科的理论与方法、先进技术, 也能将研究人员与利益相关方整合在一起进行研究。

在耦合协调度模型中, 耦合度和耦合协调度是最常见的耦合量化指标。耦合度是对耦合程度的度量, 用于描述系统或系统之间耦合作用的强弱。耦合度的取值范围在 0~1 之间, 耦合度越高, 说明系统之间的耦合作用越强。但由于系统或系统要素之

作者简介: 吴照红(1992-), 女, 山西长治人, 在读博士研究生, 研究方向: 农业生态学与农业经济学。

罗良国(1966-), 男, 四川广元人, 研究员, 研究方向: 农业清洁生产技术与环境经济政策。

基金项目: “十三五”国家重点研发计划“化肥农药减施增效技术应用及评估研究项目”(2016YFD0201306); 中国农业科学院农业清洁流域创新工程项目(CAASIP-001)

间具有交错性、动态化和不平衡等特性，耦合度在某些情况下可能无法准确反映系统耦合作用的整体功效，即当两个系统的发展水平都较低时，也能得到很高的耦合度。所以，耦合度只能反映系统关联作用的强弱，而无法判断系统之间的耦合是否为良性。为了准确地反映本研究包含的化肥减施增效技术体系与项目目标体系、环境体系、社会经济效益体系间的耦合协调发展水平，引入耦合协调度这一指标。耦合协调度能够反映系统或系统要素之间的良性互动关系，揭示系统之间交互耦合的协调程度。耦合协调度的取值范围同样在 0~1 之间，耦合协调度越高，说明两个系统的耦合协调发展水平越高，即两个系统的综合效益或功能也就越好，反之亦然。

“十三五”期间，为有效实现化肥的减施增效，紧扣化肥农药零增长行动主题，我国已经研发一批旨在推动化肥减施增效的新技术，并建立了化肥减施增效技术效益评估监测点，进行集成示范；后期化肥减施增效技术推广应用的前景，除却技术本身的示范效果与项目目标的契合程度外，还需通过对化肥减施增效技术应用下稻农增加的经济效益、对自然资源环境禀赋中土地本身质量的贡献等进行全面的考量。

1 数据来源与指标体系构建

1.1 指标选取

本文数据来源于湖北省水稻化肥减施增效技术模式应用下的监测数据，并以化肥减施增效技术应用效果评价研究团队所构建的水稻化肥减施增效技术评价指标框架体系为依据，以湖北省 2017-2020 年水稻化肥减施增效技术为核心，重构了湖北省水稻化肥减施增效技术应用达成项目目标的耦合系统，包括四大体系：即技术体系、项目目标体系、环境体系、经济效益体系。耦合系统下四大体系由若干指标构成，指标间不存在共线性，每个指标独立表征体系某种特征，指标组可完整表征体系特征。项目目标体系 (U_1)、技术体系 (U_2)、环境体系 (U_3) 与经济效益体系 (U_4) 的具体内容及指标释义见表 1 和表 2。

表 1 化肥减施增效技术与项目目标耦合系统指标体系

名称	指标内容	指标释义及计算依据	单位	性质
项目目标体系 (U_1)	目标增产率 (a_1)	化肥减施增效技术下增产 3% 的稳产目标	%	+
	化肥减施率 (a_2)	化肥减施增效技术下化肥减施 17% 的减量目标	%	+
	化肥利用率 (a_3)	化肥减施增效技术下化肥利用率提高 6% 的增效目标	%	+
	目标推广面积 (a_4)	化肥减施增效技术模式推广面积达到 13.33 万 hm^2	万 hm^2	+
技术体系 (U_2)	单位面积化肥施氮减量百分比 (b_1)	化肥减施增效技术下生产每 hm^2 稻田化肥折纯养分氮施用量减量百分比	%	+
	单位面积化肥施磷减量百分比 (b_2)	化肥减施增效技术下每 hm^2 稻田化肥折纯养分 P_2O_5 施用量减量百分比	%	+
	单位面积节省劳动力个数 (b_3)	化肥减施增效技术下每 hm^2 稻田投入劳动力比常规技术节省的个数	个/ hm^2	-
	氮肥农学效率 (b_4)	单位施氮量增加的籽粒产量	kg/kg	+
环境体系 (U_3)	有机质提升率 (c_1)	化肥减施增效技术下比常规技术下每 kg 土壤有机质含量提升百	%	+

		分比		
	碱解氮提升率(c ₂)	化肥减施增效技术下比常规技术下每 kg 土壤中碱解氮含量提升百分比	%	+
	速效磷提升率(c ₃)	化肥减施增效技术下比常规技术下每 kg 土壤中速效磷含量提升百分比	%	+
	速效钾提升率(c ₄)	化肥减施增效技术下比常规技术下每 kg 土壤中速效钾含量提升百分比	%	+
经济效益体系 (U ₄)	单位面积产值增加值(d ₁)	化肥减施增效技术下比常规技术下每公顷稻田所获稻谷毛利润增加值	元 /hm ²	+
	单位面积肥料成本增加值(d ₂)	化肥减施增效技术下比常规技术下每公顷稻田的肥料投入费用增加值	元 /hm ²	-
	单位面积人工成本增加值(d ₃)	化肥减施增效技术下比常规技术下每公顷稻田的人工投入费用增加值	元 /hm ²	-
	单位面积种子成本增加值(d ₄)	化肥减施增效技术下比常规技术下每公顷稻田的种子或秧苗投入费用增加值	元 /hm ²	-
	单位面积机械成本增加值(d ₅)	化肥减施增效技术下比常规技术下每公顷稻田的全过程生产的机械折旧费等增加值	元 /hm ²	-
	单位面积农药成本增加值(d ₆)	化肥减施增效技术下比常规技术下每公顷稻田的农药投入费用增加值	元 /hm ²	-
	单位面积其余成本增加值(d ₇)	化肥减施增效技术下比常规技术下每公顷稻田的其他(水电等)费用增加值	元 /hm ²	-
	单位面积净增收益(d ₈)	化肥减施增效技术下比常规技术下每公顷稻田使用新技术后的净收益增加量	元 /hm ²	+

2 耦合模型构建

2.1 数据标准化处理

2.1.1 对于 m 个研究对象, n 项评价指标构建初始判断矩阵 $X = \{x_{ij}\}_{m \times n}$, 其中表示对象 i 的第 j 项指标的原始值或监测值。

2.1.2 对指标数据进行标准化处理:

$$y_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - x_{ij(\min)}}{x_{ij(\max)} - x_{ij(\min)}}, & \text{(正向指标)} \\ \left| \frac{x_{ij(\min)} - x_{ij}}{x_{ij(\max)} - x_{ij(\min)}} \right|, & \text{(负向指标)} \end{cases} \quad (1)$$

其中, y_{ij} 表示对象 i 的第 j 项指标的标准化处理值, $x_{ij}(\min)$ 表示对象 i 的第 j 项指标的原始值或监测值中的最小值, $x_{ij}(\max)$ 表示对象 i 的第 j 项指标的原始值或监测值中的最大值, 负向指标标准化要取其绝对值。

2.2 专家组多重相关性赋权法

表 2 各指标体系构成及历年数据

指标类别/年份		2017	2018	2019	2020	单位
U ₁	a ₁	12.2	8.2	3.4	4.1	%
	a ₂	7.2	10.6	13.8	17	%
	a ₃	1.2	2.2	2.2	6	%
	a ₄	2.86	5.72	8.57	11.4	万 hm ²
U ₂	b ₁	3.3	14.2	13.7	11.5	%
	b ₂	1.4	-43.6	2.8	2.8	%
	b ₃	42	43.5	42	39	个/hm ²
	b ₄	20.6	23.4	22.3	24.8	kg/kg
U ₃	c ₁	-1.3	-0.6	0.6	-2.4	%
	c ₂	-4.7	-10.3	-2.3	-2.4	%
	c ₃	-3.6	-1.2	-0.9	-1.9	%
	c ₄	-0.9	-0.9	-7.6	-1.9	%
U ₄	d ₁	1455	1375.5	1278	1843.5	元/hm ²
	d ₂	-78	91.5	159	190.5	元/hm ²
	d ₃	2115	2422.5	2481	2437.5	元/hm ²
	d ₄	727.5	789	900	997.5	元/hm ²
	d ₅	-549	-657	-603	-507	元/hm ²
	d ₆	-777	-799.5	-829.5	-871.5	元/hm ²

	d ₇	-378	-313.5	-243	-181.5	元/hm ²
	d ₈	1995	1890	1815	2385	元/hm ²

在进行耦合分析过程中需要对各体系的指标进行合理赋权，以得到科学的权重。本研究基于专家咨询法，采用多重相关性赋权方法，通过会议或通信方式获得各位业界专家的打分意见表，通过分数汇总建立打分矩阵。然后，两两计算不同专家打分矩阵之间的相关性系数。利用打分意见的相关性系数，重新赋予每个指标专家组意见一致的权重。

专家组多重相关性赋权法具体计算过程如下：

第一步：建立打分矩阵。设指标个数为 n 个，由 m 名专家对各个指标进行打分，获得 m 个主观权重组合，构成打分矩阵 W ：

$$W = \begin{pmatrix} \omega_1^1 & \cdots & \omega_n^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_1^m & \cdots & \omega_n^m \end{pmatrix} \quad (2)$$

第二步：计算专家 p 与专家 q 之间相关性系数 r_{pq} 。综合计算得出 m 名专家指标权重的相关系数，相关性系数范围为 $[-1, 1]$ ，若正相关，且相关系数越大，则两位专家的意见越一致；若是负相关，且相关系数越小，则两位专家意见越相悖。相关系数计算公式如下：

$$r_{pq} = \frac{\sum_{k=1}^n (\omega_k^p - \bar{\omega}^p)(\omega_k^q - \bar{\omega}^q)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (\omega_k^p - \bar{\omega}^p)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n (\omega_k^q - \bar{\omega}^q)^2}} \quad (3)$$

$$\bar{\omega}^p = \sum_{k=1}^n \omega_k^p / n \quad (4)$$

第三步：得到各位打分专家的相关性系数矩阵 R ，对矩阵 R 进行归一化处理，然后得到归一化后的相关性系数矩阵 R' 。具体计算公式如下：

$$r_{pq}' = r_{pq} / \sum_{q=1}^m r_{pq} \quad (5)$$

$$R' = \begin{pmatrix} r_{11}' & \cdots & r_{1m}' \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1}' & \cdots & r_{mm}' \end{pmatrix} \quad (6)$$

第四步：计算专家加权重矩阵 Q ：

$$Q = R' * W \quad (7)$$

此时，专家加权重矩阵不具有收敛性，为了获得收敛矩阵，即获得一致性的指标赋权值，需要重复此过程。即每一次将此矩阵作为新的权重矩阵，重复第二步至第四步的过程，直至得到收敛的权重结果。

第五步：求出各个层次指标的最终权重。计算收敛的加权重矩阵各列的平均值，将平均值进行绝对值归一化处理，最终得到主观权重。

2.3 各体系综合指标指数计算

综合评价法是一种适用于多项指标、多个研究单位同时进行评价的方法，对评价对象进行量化的总体判断。在对系统进行综合评价时，首先对各项指标的初始数据进行标准化处理，再利用线性加权法计算得到系统的综合指标指数，计算公式如下：

$$U_1 = \sum_{i=1}^m a_i \times p_i, \sum_{i=1}^m p_i = 1 \quad (8)$$

$$U_2 = \sum_{j=1}^n b_j \times q_j, \sum_{j=1}^n q_j = 1 \quad (9)$$

$$U_3 = \sum_{s=1}^z c_s \times r_s, \sum_{s=1}^z r_s = 1 \quad (10)$$

$$U_4 = \sum_{t=1}^w d_t \times v_t, \sum_{t=1}^w v_t = 1 \quad (11)$$

其中， U_1, U_2, U_3, U_4 分别表示项目目标、技术、环境、经济效益这四个体系的综合指标指数。 a_i, b_j, c_s, d_t 分别表示四个体系中各项指标的标准化值，而 p_i, q_j, r_s, v_t 为对应的指标权重，这些权重来源于专家咨询意见，其计算方法参照 3.2 小节。

2.4 耦合度与耦合协调度计算

耦合度计算：

n 个系统相互作用的耦合度函数，计算公式如下：

$$C = \{[(U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n)] / \prod (U_i + U_j)\}^{1/n} \quad (12)$$

由于本研究的目的是以技术体系为中心，分析其与另外三个体系的耦合协调度情况，令 $n=2$ 可将公示简化为：

$$C_1 = \sqrt{U_1 \times U_2} / (U_1 + U_2) \quad (13)$$

$$C_2 = \sqrt{U_3 \times U_2} / (U_3 + U_2) \quad (14)$$

$$C_3 = \sqrt{U_4 \times U_2} / (U_4 + U_2) \quad (15)$$

其中， C_1, C_2, C_3 分别表示技术体系与项目目标体系、环境体系、社会经济效益体系的耦合度。 $0 \leq C_1, C_2, C_3 \leq 1$ ，当其为 0 时，说明系统之间不存在耦合关系，当其为 1 时，说明系统之间的耦合作用达到最强，通常将耦合协调度划分为 4 个区间将计算得到的耦合度分为四级进行分析，分别是：耦合度为 $[0, 0.3)$ 时是低度耦合阶段，表示两者之间相互关联程度不明显；耦合度为 $[0.3, 0.5)$ 时是中度耦合阶段，表示两者相互有一定的关联关系；耦合度为 $[0.5, 0.8)$ 时是高度耦合阶段，表示两者之

间关联关系密切；耦合度为[0.8, 1]，处于极度耦合阶段，则表示两者之间关系关联程度紧密。

但在计算过程中，当两个系统的综合指标指数都比较低时，也可能得到很高的耦合度。为了避免这一不合理情形，本研究在耦合度的基础上，引入综合协同指数，构建耦合协调度函数，计算公式如下：

$$\begin{cases} F_i = \alpha U_1 + \beta U_2 \\ D_i = \sqrt{C_i \times F_i} \end{cases} \quad i = 1, 2, 3 \dots \quad (16)$$

其中， F_i 表示系统 i 与技术体系的综合协同指数，表示系统 i 与技术体系的耦合协调度， D_i 越大，说明两个系统的综合效益越好。 α 、 β 是待定系数， $0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1$ 根据两个体系的重要程度确定，为了更加直观评价两个系统的耦合协调发展水平，将耦合协调度划分为 10 个区间（表 3）。

表 3 耦合度协调度等级划分标准

耦合协调度	等级划分	主要特征
[0, 0.1)	极度失调阶段	系统之间存在极高的独立性和滞后性
[0.1, 0.2)	高度失调阶段	系统之间存在较高的独立性和滞后性
[0.2, 0.3)	中度失调阶段	系统之间存在轻微的独立性和滞后性
[0.3, 0.4)	低度失调阶段	系统之间处于磨合状态
[0.4, 0.5)	弱度失调阶段	系统之间有一定的协调状态
[0.5, 0.6)	弱度协调阶段	系统之间协调且有互相促进的趋势
[0.6, 0.7)	低度协调阶段	系统之间有一定的互动和发展
[0.7, 0.8)	中度协调阶段	系统之间达成协调一致状态
[0.8, 0.9)	高度协调阶段	系统之间形成良性互动发展
[0.9, 1]	极度协调阶段	系统之间达成高度协调一致状态

3 结果与讨论

3.1 耦合结果

首先，通过公式(1)对 U_1, U_2, U_3, U_4 体系下各指标进行标准化处理以消除量纲的影响，得到各指标的标准化结果(见表 4)。

其次，基于邀请涉及水稻栽培、土肥、生态学、农经等多领域、交叉学科的 25 位专家对水稻化肥减施增效技术应用效果评价指标体系各项指标打分，再根据公式(2)-(7)计算获得指标体系各指标的权重(见表 4)。

表 4 技术体系与项目目标、环境、经济效益体系标准化结果与权重

年份	2017	2018	2019	2020	权重	
U1	a ₁	1.0000	0.5473	0.0000	0.0784	0.33
	a ₂	1.0000	0.6542	0.3210	0.0000	0.30
	a ₃	0.0000	0.2107	0.2153	1.0000	0.25
	a ₄	0.0000	0.3333	0.6667	1.0000	0.12
U2	b ₁	0.0000	1.0000	0.9608	0.7587	0.20
	b ₂	0.9709	0.0000	1.0000	1.0000	0.12
	b ₃	0.8010	1.0000	0.6142	0.0000	0.38
	b ₄	0.0000	0.6612	0.3972	1.0000	0.30
U3	c ₁	0.3544	0.6043	1.0000	0.0000	0.26
	c ₂	0.6989	0.0000	1.0000	0.9875	0.28
	c ₃	0.0000	0.8597	1.0000	0.6162	0.23
	c ₄	0.9940	1.0000	0.0000	0.8516	0.23
U4	d ₁	0.0000	0.0688	0.9000	1.0000	0.15
	d ₂	0.0000	0.6291	0.8800	1.0000	0.13
	d ₃	0.0000	0.8390	1.0000	0.8792	0.13
	d ₄	0.0000	0.2306	0.6364	1.0000	0.08
	d ₅	0.7248	0.0000	0.3549	1.0000	0.10
	d ₆	1.0000	0.7501	0.4357	0.0000	0.11
	d ₇	0.0000	0.3321	0.6899	1.0000	0.06
	d ₈	0.3158	0.1316	0.0000	1.0000	0.24

再次，分别运用公式(8)-(11)的计算，获得项目目标体系、技术体系、环境体系、经济效益体系的综合指标指数，通过各体系的综合指标指数和公式(12)-(15)可计算获得化肥减施增效技术体系与项目目标体系、技术体系与环境体系、技术体系与经济效益体系之间的耦合情况，耦合度结果见表5。

表5 技术体系与项目目标、环境、经济效益体系耦合度结果

年份	U ₂ 与U ₁ 的耦合度	U ₂ 与U ₃ 的耦合度	U ₂ 与U ₄ 的耦合度
2017	0.4906	0.4978	0.4844

2018	0.4848	0.4951	0.4633
2019	0.4370	0.4986	0.4980
2020	0.4916	0.4997	0.3409

由于耦合度只能反映系统耦合作用的强弱，而无法准确反映系统耦合作用的整体功效，使得最终评价结果可能与实际情况有所出入。为了避免这一不合理情形，本研究进一步引入综合协同指数，计算二者耦合协调度 D ， a 、 b 是待定系数，综合专家们意见，两个系数取值均为 0.5。由公式(16)计算分别获得化肥减施增效技术体系与项目目标、环境体系、经济效益体系的耦合协调结果，见表 6。

表 6 技术体系与项目目标、环境、经济效益体系耦合协调度结果

年份	U_2 与 U_1 的耦合协调度	U_2 与 U_3 的耦合协调度	U_2 与 U_4 的耦合协调度
2017	0.4939	0.4905	0.3911
2018	0.5689	0.5675	0.4810
2019	0.4734	0.6054	0.5438
2020	0.5009	0.5473	0.2965

3.2 讨论分析

从耦合度的结果来看，化肥减施增效技术体系与环境体系的耦合度最高(0.4978、0.4951、0.4986、0.4997)，其次是化肥减施增效技术体系与项目目标体系的耦合度，而化肥减施增效技术体系与经济效益体系的耦合度在项目期间稍有波动，排第三位。化肥减施增效技术体系与项目目标体系、环境体系、经济效益体系的耦合协调结果与耦合结果相似，进一步说明了化肥减施增效技术与其他三者之间关联较为密切且存在协同效应。

化肥减施增效技术体系与环境体系的耦合度最高，2020 年达到 0.4997，虽处在中度耦合阶段但是无限接近高度耦合阶段，说明化肥减施增效技术体系与环境体系互动关系较为密切，化肥减施增效技术和土壤地力之间的关联性不容忽视。2017-2020 年之间，化肥减施增效技术与环境体系之间的耦合度波动很小，说明其受时间影响不大，项目期间两者关系基本未变。同时，化肥减施增效技术体系与环境体系的耦合协调结果在弱度耦合协调阶段到低度耦合协调阶段之间浮动，进一步验证了化肥减施增效技术与环境体系之间互动关系明确，即化肥减施增效技术与土壤地力之间存在协同效应，技术对土壤地力的影响最为直接。

化肥减施增效技术体系与项目目标体系的耦合度在 2020 年达到 0.4916，同样呈现出从中度耦合阶段不断趋近高度耦合阶段的态势，说明化肥减施增效技术较好地契合项目目标的要求，同时项目目标的制定也为技术的研发和使用提供了方向。除此以外，化肥减施增效技术体系与项目目标体系的耦合度在 2017-2020 年之间波动幅度较小，说明化肥减施增效技术在边集成边应用并验证示范过程中一直契合化肥减施增效项目目标，有较好的稳定性。从耦合协调度看，2017-2020 年化肥减施增效技术体系与项目目标体系的协调耦合度处于 10 级分类的中间位置，两个系统之间多数年份更多倾向协同效应，揭示出化肥减施增效技术的应用可以实现项目目标要求。

2017-2020 年化肥减施增效技术体系与经济效益的耦合度在中度耦合[0.3-0.5]阶段浮动,表明化肥减施增效技术应用与取得经济效益之间有一定关联性。特别是2019年耦合度达0.4980,接近高度耦合阶段,说明化肥减施增效技术的应用在确保稻农收益、节省成本方面虽存在年际间波动,但总体上是满足经济收益增加的要求。耦合的波动可能与物料价格变动如上涨或选用价格更高的环保物料等影响有关,比如价格更高的低毒农药和高效化肥等的使用会增加成本,从而降低经济效益体系与技术体系的耦合度。从耦合协调度结果来看,技术体系与经济效益体系的耦合协调度处于中度失调和弱度协调之间,说明化肥减施增效技术与经济效益的协同关系不稳定,进一步表明化肥减施增效技术的研发应用还要朝着降低种植投入成本、增加稻农收益的方向努力。

4 结论和建议

通过化肥减施增效技术体系与项目目标体系、环境体系、经济效益体系的耦合度与耦合协调度分析研究,结果表明化肥减施增效技术与项目目标、环境、经济效益之间有不忽视的关联度。总体上,项目期间该技术模式的应用与项目目标、环境和经济都具有较好的两两协同效应,表明该化肥减施增效技术的应用可以实现项目既定目标,同时对地力有促进作用,并一定程度确保稻农经济收益。

但是技术体系在满足项目目标方面,随着技术的熟化,还有很大的提升空间;而技术体系和环境体系之间的关联性最强,揭示出化肥减施增效技术的应用需关注土壤地力的变化,适时调整有碍于协同发展的不利因素,以有效预防“减肥”之后土壤有机质、速效磷、速效钾、碱解氮含量下降的风险,确保化肥减量同时不影响耕地质量。技术体系与经济效益之间所表现的中度耦合与弱协调性,反映化肥减施增效技术对水稻种植户的经济效益影响具有不稳定性,表明化肥减施增效技术实施期间较好地满足了“减施”目标但经济增效偏弱,需要在未来技术熟化过程中进一步控制成本提升稻农收益,以提高农户对技术推广应用的可接受性和实际采纳率。

参考文献:

- [1]WEICK K E. Educational Organizations as Loosely Coupled Systems[J]. Administrative Science Quarterly, 1976, 21(1):1-19.
- [2]任继周, 万长贵. 系统耦合与荒漠-绿洲草地农业系统——以祁连山-临泽剖面为例[J]. 草业学报, 1994(03):1-8.
- [3]马丽, 金凤君, 刘毅. 中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析[J]. 地理学报, 2012, 67(10):1299-1307.
- [4]尼雪妹, 罗良国, 李宁辉, 等. 水稻作物化肥减施增效技术评价指标体系构建[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(04):301-310.