

黑龙江垦区耕地利用生态效率及其内部协调性

张红梅, 宋 戈

(东北大学 文法学院土地管理研究所, 辽宁 沈阳 110169)



摘要 基于耕地利用生态效率的内涵界定,运用 DEA 效率混合测度模型和协调发展度模型,分析 2001—2016 黑龙江垦区耕地利用生态效率及其非效率来源,探究耕地利用生态效率的内部协调性。研究表明:2001—2016 年研究区耕地利用生态效率呈波动上升趋势,变化幅度不大,各管理局耕地利用生态效率差异明显;耕地利用效率损失的主要原因为投入非效率、社会产出非效率和环境产出非效率,且投入非效率普遍高于社会产出非效率和环境产出非效率,耕地投入冗余对耕地利用效率的负向影响最大;耕地利用经济和社会效率相对于环境效率滞后,是影响耕地利用生态效率内部协调性的主要原因。认为耕地利用生态效率是耕地利用经济、社会和环境效率的综合体现,并从内生性角度分析耕地利用非效率来源及其变化趋势,为提高耕地利用效率提供有效指导,即通过优化研究区耕地投入结构,减少耕地投入冗余,提升其耕地利用经济和社会效率,以实现耕地利用经济、社会和环境效率的协调发展。

关键词 耕地利用;生态效率;协调性;DEA 效率混合测度模型;黑龙江垦区

中图分类号:F 301.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-3456(2019)04-0160-09

DOI 编码:10.13300/j.cnki.hnwkxb.2019.04.018

耕地作为人类赖以生存和发展的稀缺资源,在经济、社会和环境等方面创造诸多价值。但随着社会经济发展和耕地生产需求不断增加,耕地利用中的环境破坏和发展失衡问题逐渐显现。耕地利用的高消耗、高污染和高排放带来大量的资源浪费和环境污染,降低了耕地利用效率,违背了农业可持续发展和生态化发展目标。2015 年 5 月,国务院在《关于加快推进生态文明建设的意见》中提出:转变经济发展方式,提高发展质量和效益的内在要求,建设资源节约型和环境友好型社会。2015 年 9 月,联合国可持续发展峰会明确提出了 2015—2030 年可持续发展目标:以综合方式彻底解决社会、经济和环境三个维度的发展问题,转向可持续发展道路。农业生态化发展要求兼顾经济效益和生态效益,生态化发展被逐渐赋予多种含义,与可持续发展目标不谋而合,将生态注入耕地利用效率评价中符合当前研究趋势和社会发展需求。以经济、社会和环境多要素协同发展的角度探究耕地利用生态效率问题,并协调耕地利用中社会经济与生态环境的关系,成为提升耕地利用效率和促进我国农业协调、可持续发展的重要切入点。

20 世纪 90 年代以来,生态效率(Eco-efficiency)这一概念被学者们不断丰富和深化,并越来越多的应用于不同研究领域,成为衡量可持续发展的重要分析工具^[1-2]。目前,国内外学者主要将其用于产品、行业、城市及区域等方面^[3-6],有关农业及土地方面的生态效率研究尚处于起步阶段。相关研究多以农业面源污染、废气废水、碳排放量等为非期望产出,运用改进 DEA 的 SBM、BCC、CCR 模型或 Malmquist 指数模型等测度农业或土地利用效率^[7-12],或通过构建评价指标体系,测算耕地利用生态效率^[13]。少有研究对耕地利用生态效率这一概念进行系统界定,在研究方法上多运用单一径向或非

收稿日期:2018-10-29

基金项目:国家自然科学基金项目“三江平原耕地利用的区域分化及其结构布局优化”(41571165)。

作者简介:张红梅(1992-),女,博士研究生;研究方向:土地利用。

通讯作者:宋 戈(1969-),女,教授,博士;研究方向:土地利用与管理。

径向的DEA模型进行生态效率测度,测度结果不够全面和准确。且现有研究对于耕地利用内部协调性的关注不够,而确保耕地利用各要素之间协调发展是耕地资源可持续利用的关键。

本文以耕地利用经济、社会、环境效率协同发展的视角对耕地利用生态效率内涵进行系统界定。构建基于DEA的径向、非径向混合的效率测度模型,全面测度耕地利用生态效率。从内生性角度进行非效率分解,揭示耕地利用生态效率损失来源,并对耕地利用生态效率的内部协调性进行量化分析。对丰富耕地利用生态效率内涵和完善基于DEA的耕地利用效率测度模型具有一定参考价值,对提升耕地利用效率、促进耕地利用的协调和可持续发展具有一定现实意义。黑龙江垦区是我国三大垦区之一,下辖9个管理局,人均耕地面积大、农业机械化水平高,代表了我国农区现代农业的发展方向。研究垦区耕地利用生态效率,对于保障国家粮食安全、生态安全和农业经济发展具有重要意义,对于指导其他地区耕地有效利用具有一定借鉴意义。本文以黑龙江垦区9个管理局2001—2016年面板数据为基础,进行耕地利用生态效率及其内部协调性的实证分析,以期客观全面地评价耕地利用生态效率,并探究耕地利用生态效率及其内部发展协调性提升策略。

一、理论分析

1. 耕地利用效率的理论分析

各种生产行为均是在一定生产技术条件下的投入和产出过程,投入与产出之间存在一定的对应关系,不同水平投入可以获得不同产出,最佳产出水平构成了产出前沿面。实际产出水平与最佳产出水平之间往往存在一定距离,即存在效率损失,一定生产技术条件和投入水平下,最佳产出水平的实现程度即为投入产出效率。而产出分为期望产出和非期望产出两种,探讨某生产过程中的效率问题需同时考虑期望和非期望产出(图1)。

在耕地生产过程中,随着生产资料的投入,产生一定的社会和经济价值(期望产出),同时造成一定污染(非期望产出),耕地利用产出与投入存在一定的正向关系,且在一定条件下,存在可实现的投入/产出最优值(生产前沿面)。

但由于受到不同时空下环境、技术、政策和人为等因素影响,在一定耕地产出下,投入或产出往往无法处于生产前沿面,导致生产决策单元产生不同程度的耕地利用非效率(效率损失):对于耕地利用的期望产出,某决策单元在一定条件下的生产资料实际投入量往往大于最优投入量,此时,耕地利用效率可通过一定耕地利用产出下的最优投入量与实际投入量的比值来测度(见情景1、2)。而某些产出并非越多越好,耕地利用中机械、农药、化肥等生产资料的投入在生产农产品的同时,伴随着大量的碳排放,造成严重的资源浪费和环境污染,此类产出为非期望产出。对于耕地利用的非期望产出,某决策单元在一定条件下的实际非期望产出量往往大于最优非期望产出量,此时,耕地利用效率可通过一定耕地利用产出下的最优非期望产出量与实际非期望产出量的比值来测度(见情景3)。耕地利用效率需兼顾期望产出最大化和非期望产出最小化目标,并寻找两者之间的均衡点(见情景4)。

2. 耕地利用生态效率的内涵

WBCSD(世界可持续发展商业委员会)将生态效率定义为:通过提供满足人类需求和提高生活质量的竞争性定价商品或服务,同时使整个生命周期的生态影响与资源强度逐渐减低到一个至少与地球的估计承载能力一致的水平来实现的。其思想是在尽可能产生最大价值的同时,最小化资源消耗和环境污染,生态效率涵盖了资源、社会经济和环境等方面的效率问题,是一个追求三者之间协同发展的综合概念。对于耕地利用则希望通过最小的资源消耗达到最大的产出,同时对环境排放最少的废物,其生态效率可体现为以一定的资源投入获得最大的社会、经济产出和最小的环境污染的程度,或体现在一定社会、经济产出下所能实现最小资源消耗和环境污染的程度。农业总产值反映了耕地利用的经济效益情况,为国民产业和经济发展提供重要支撑,以此作为耕地利用的经济产出;粮食总

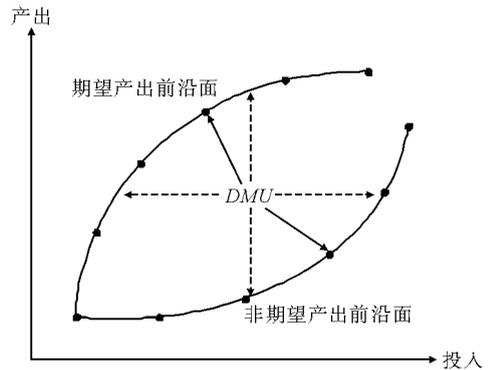


图1 耕地利用投入与期望产出、非期望产出的关系

产量反映了一定区域内耕地利用对其人口的粮食供给能力,为保障国家粮食安全和社会稳定做出重要贡献,以此作为耕地利用的社会产出;耕地利用中农膜、农药和化肥等生产资料的不当投入产生大量的碳排放,反映耕地利用对环境造成的影响,以此作为耕地利用的环境产出,此产出为非期望产出。因此,将耕地利用生态效率界定为在一定的技术条件和发展水平下单位耕地产出所能实现的最小资源投入和最小污染程度,是耕地利用经济、社会和环境效率的综合体现,片面的追求其中任何一种效率的提高都将影响耕地利用的协调和可持续发展。

现将某一耕地生产单元定义为一个决策单元,设决策单元 DMU_o 的耕地利用实际观测值为 (R, E, S, P) , 达到最佳前沿面时其观测值变为 (R^*, E^*, S^*, P^*) 。其中, R 为耕地利用资源投入量, E 为耕地利用经济产出, S 为耕地利用社会产出, P 为耕地利用环境产出, 实际观测值与最佳前沿面观测值之间的差距表现为耕地利用的效率损失, 即耕地利用非效率。耕地利用非效率是指在耕地利用过程中未能充分利用既有资源以达到相对可实现绩效而造成的效率损失, 可分为耕地利用投入非效率和产出非效率。令 $IE_R = (R - R^*)/R$, $IE_E = (E^* - E)/E$, $IE_S = (S^* - S)/S$, $IE_P = (P - P^*)/P$, 分别表示耕地利用的资源投入非效率、经济产出非效率、社会产出非效率和环境产出非效率。借鉴陈黎明等^[14]的研究成果, 设定四个情景, 分别定义耕地利用经济效率、社会效率和环境效率, 并综合三者定义耕地利用生态效率。

情景 1: 耕地利用经济效率。考虑耕地利用资源投入和经济产出, 以单位经济产出下的资源投入作为经济产出强度, 单位经济产出下的资源投入越大, 经济产出强度越小, 而经济产出强度越大是期望看到的, 因此, 经济产出强度最大时为最优经济产出强度。将耕地利用经济效率定义为最优经济产出强度与实际经济产出强度的比值, 即

$$E_1 = \frac{R^*/E^*}{R/E} = \frac{1 - (R - R^*)/R}{1 + (E^* - E)/E} = \frac{1 - IE_R}{1 + IE_E}$$

情景 2: 耕地利用社会效率。考虑耕地利用资源投入和社会产出, 以单位社会产出下的资源投入作为社会产出强度, 单位社会产出下的资源投入越大, 社会产出强度越小, 而社会产出强度越大是期望看到的, 因此, 社会产出强度最大时为最优社会产出强度。将耕地利用社会效率定义为最优社会产出强度与实际社会产出强度的比值, 即

$$E_2 = \frac{R^*/S^*}{R/S} = \frac{1 - (R - R^*)/R}{1 + (S^* - S)/S} = \frac{1 - IE_R}{1 + IE_S}$$

情景 3: 耕地利用环境效率。考虑耕地利用社会产出和环境产出(碳排放量, 即非期望产出), 以单位社会产出下的碳排放量作为耕地利用的碳排放强度^①, 单位社会产出下的碳排放量越大, 环境产出强度越大, 而环境产出强度越小才是期望看到的, 因此, 环境产出强度最小时为最优环境产出强度。将耕地利用环境效率定义为最优环境产出强度与实际环境产出强度的比值, 即

$$E_3 = \frac{P^*/S^*}{P/S} = \frac{1 - (P - P^*)/P}{1 + (S^* - S)/S} = \frac{1 - IE_P}{1 + IE_S}$$

情景 4: 耕地利用生态效率。综合以上 3 种情景, 考虑耕地利用资源投入、经济产出、社会产出和环境产出, 将耕地利用生态效率定义为一定条件下, 单位资源投入下期望产出最大化和非期望产出最小化的可实现程度, 即

$$E = \frac{1 - IE_R}{1 + IE_E + IE_S + IE_P}$$

二、研究方法 with 模型构建

1. 耕地利用生态效率指标体系

耕地利用生态效率投入产出指标的选取需同时考虑耕地的实际生产特质和耕地利用发展目标,

① 碳排放强度原指每单位国民生产总值的增长所带来的二氧化碳排放量, 在耕地利用中, 碳排放与粮食生产有直接关系, 以单位粮食产量下的耕地碳排放量表示耕地利用碳排放强度较为合理。

反映资源节约、环境保护、经济增长和社会稳定的综合需求。基于耕地利用生态效率的概念,借鉴已有研究成果^[15-16],并结合数据可获得性,构建耕地利用效率指标体系(表 1)。耕地生产离不开土地、劳动和资本三大要素,因此,选取主要农作物播种面积、第一产业从业人员、化肥施用折纯量和农用机械总动力作为耕地利用的投入指标。耕地利用产出分为期望产出和非期望产出两种,在耕地利用期望产出中选取农业总产值表征耕地利用在经济方面的产出,选取粮食总产量表征耕地利用在社会方面的产出,在耕地利用非期望产出中选取耕地利用碳排放量表征耕地利用在环境方面的产出。其中,耕地利用碳排放量从农业翻耕、机械化作业、化肥、农药、农膜使用和耕地灌溉几方面考虑,通过获取耕地利用主要碳源的碳排放系数和各类碳源总量进行乘积求和得到,具体算法借鉴李波^[17]和王宝义等^[18]的研究成果,在此不做赘述。通过耕地利用投入产出特征分析,对指标投入和产出的同比例和不同比例变化特点做出判断,进而对各指标进行径向和非径向选择。

表 1 耕地利用生态效率指标体系

变量类型	变量代码	指标名称	径向选择
投入	R_1	主要农作物播种面积/公顷	否
	R_2	第一产业从业人员	否
	R_3	化肥施用折纯量/吨	否
	R_4	农用机械总动力/万千瓦	否
期望产出	E	农业总产值/万元	是
	S	粮食总产量/吨	否
非期望产出	P	耕地利用碳排放量/千吨	否

2.DEA 效率混合测度模型

Tone 提出了非径向、非角度的 DEA 模型,并将投入和产出数据矩阵分为径向和非径向部分,创建了混合 DEA 模型,有效地测度生产过程中径向或非径向型变量在投入和产出方面所产生的效率损失,更加准确客观的评价和量化生产效率问题^[19-20],对于耕地利用生态效率测算具有较好的适用性。本文借鉴 Tone 的处理方法,运用 MATLAB 编程构建基于 DEA 的径向与非径向混合的效率测度模型,测度多情境下的耕地利用效率及综合生态效率。将投入矩阵 $X \in R_+^{m \times n}$ 分解为径向部分 $X^R \in R_+^{m_1 \times n}$ 和非径向部分 $X^{NR} \in R_+^{m_2 \times n}$ ($m_1 + m_2 = m$),即 $X = \begin{pmatrix} X^R \\ X^{NR} \end{pmatrix}$;将期望产出矩阵 Y^d 分解为径向部分 $Y^{Rd} \in R_+^{s_1}$ 和非径向部分 $Y^{NRd} \in R_+^{s_2}$ ($s_1 + s_2 = s$),即 $Y = \begin{pmatrix} Y^{Rd} \\ Y^{NRd} \end{pmatrix}$;将非期望产出矩阵 Y^u 分解为径向部分 $Y^{Ru} \in R_+^{h_1}$ 和非径向部分 $Y^{NRu} \in R_+^{h_2}$ ($h_1 + h_2 = h$),即 $Y^u = \begin{pmatrix} Y^{Ru} \\ Y^{NRu} \end{pmatrix}$ 。某一特定决策单元 $DMU(x_0, y_0) = (x_0^R, x_0^{NR}, y_0^{Rd}, y_0^{NRd}, y_0^{Ru}, y_0^{NRu})$ 。在上述符号约定下,基于 DEA 模型的效率混合测算函数线性规划形式表示如下(式 1):

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{m_1}{m}(1-\theta) - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m_2} s_i^{NR-} / x_{i0}^{NR}}{1 + \frac{s_1}{s+r}(\varphi-1) - \frac{r_1}{s+r}(1-\omega) + \frac{1}{s+r} (\sum_{i=1}^{s_2} s_i^{NRd+} / y_{i0}^{NRd} + \sum_{i=1}^{r_2} s_i^{NRu+} / y_{i0}^{NRu})}$$

$$s.t. \quad \theta x_0^R \geq X^R \lambda$$

$$x_0^{NR} = X^{NR} \lambda + s^{NR-}$$

$$\varphi y_0^{Rd} \leq Y^{Rd} \lambda$$

$$y_0^{NRd} = Y^{NRd} \lambda - s^{NRd+}$$

$$\omega y_0^{Ru} \geq Y^{Ru} \lambda$$

$$y_0^{NRu} = Y^{NRu} \lambda + s^{NRu-}$$

$$\theta \leq 1, \varphi \geq 1, \omega \leq 1, \lambda \geq 0, s^{NR-} \geq 0, s^{NRd+} \geq 0, s^{NRu-} \geq 0 \quad (1)$$

式(1)中: ρ^* 为耕地利用生态效率值,其取值范围在 0 和 1 之间,取值为 1 时表示决策单元耕地

利用生态效率完全有效。 i, m, s 和 r 分别表示决策单元、投入、期望产出和非期望产出的数目, 其中 m_1, s_1, r_1 分别为相应的径向部分, m_2, s_2, r_2 分别为相应的非径向部分。 s^{NR-} 、 s^{NRd+} 和 s^{NRu-} 代表投入冗余、期望产出不足和非期望产出冗余。决策单元耕地利用生态效率损失分解如下:

$$\text{径向投入非效率: } IE_{xR} = \frac{m_1}{m}(1-\theta)$$

$$\text{非径向投入非效率: } IE_{xNR} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m_2} s_i^{NR-} / x_{i0}^{NR}$$

$$\text{径向期望产出非效率: } IE_{yRd} = \frac{s_1}{s+r}(\varphi-1)$$

$$\text{非径向期望产出非效率: } IE_{yNRd} = \frac{1}{s+r} \sum_{i=1}^{s_2} s_i^{NRd-} / y_{i0}^{NRd}$$

$$\text{径向非期望产出非效率: } IE_{yRu} = \frac{r_1}{s+r}(\omega-1)$$

$$\text{非径向非期望产出非效率: } IE_{yNRu} = \frac{1}{s+r} \sum_{i=1}^{r_2} s_i^{NRu-} / y_{i0}^{NRu}$$

耕地利用生态效率整体损失为以上六部分之和, 可分为投入非效率和产出非效率, 投入非效率为 $IE_x = IE_{xR} + IE_{xNR}$, 产出非效率为 $IE_y = IE_{yRd} + IE_{yNRd} + IE_{yRu} + IE_{yNRu}$, 总体效率损失为 $IE = IE_x + IE_y$ 。基于上文对耕地利用生态效率的概念界定和指标体系构建, 耕地利用环境非效率即为非期望产出非效率, 即 $IE_p = IE_{yRu} + IE_{yNRu}$; 耕地利用经济非效率即为径向期望产出非效率, 即 $IE_E = IE_{yRd}$; 耕地利用社会非效率即为非径向期望产出非效率, 即 $IE_S = IE_{yNRd}$ 。

3. 耕地利用生态效率协调发展度模型

协调发展度模型包括发展度和协调度两个重要指标, 发展度是度量系统或子系统从小到大、从简单到复杂、从低级到高级、从无序到有序变化的水平及程度^[21]。协调度是度量两种或两种以上子系统间配合得当、和谐一致、良性循环, 以减少系统运行负效应、提高系统整体输出功能和协同效应的程度^[22]。协调发展度则是度量系统发展水平与协调效应的综合状态。对于耕地利用生态效率的探讨, 需在测算其效率值的同时关注其内部子系统之间的协调关系和发展状态, 明确耕地利用生态效率内部的经济、社会和环境效率之间处于矛盾还是和谐一致状态, 并通过三者之间的效率值比较, 探究将矛盾转化为协调的方向, 以促进耕地利用过程中社会、经济 and 环境的协调发展, 提升耕地利用可持续发展能力。

耕地利用生态效率协调度是指实现耕地利用经济、社会和环境效率之间协调一致、共进发展这一理想状态的程度。度量耕地利用生态效率协调发展度关键在于根据协调目标确定理想的协调状态, 通过测度实际状态与理想状态之间的距离, 定量分析耕地利用生态效率协调度, 并通过制定协调发展的分类体系及判别标准, 定性分析耕地利用生态效率内部协调性。类似于社会、经济和资源环境复合系统的协同演化关系, 耕地利用经济、社会和环境效率具有紧密的内在联系, 三者之间兼具对立和统一的竞争与合作关系^[23-24]。在相对稳定的市场环境下, 耕地利用社会效率的提升将直接带来耕地利用经济效益增加, 进而提升耕地利用经济效率。耕地利用社会和经济效率的增加往往会导致耕地利用生产资料的过度投入, 超过环境承载能力, 增加环境负担, 进而降低耕地利用环境效率。提升耕地利用经济和社会效率同样可以通过资源节约和环境友好的方式来实现, 反映在降低单位耕地产出的资源消耗, 减少环境压力, 进而带来耕地利用环境效率的提升。正确处理好耕地利用社会、经济和环境效率之间的关系, 将促进三者之间的相互正向拉动关系, 最终实现三者的协调一致发展。因此, 本文将耕地利用社会、经济和环境效率的理想协调状态假定为: 当系统处于理想协调时, 三个子系统相互拉动, 发展状态是一致的。设定三个子系统的发展度为其效率值, 其理想值等于其他子系统发展度的实际值, 构建耕地利用生态效率的协调发展度模型如式(2)~式(4):

$$x_i = F(x_{it}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{it} \quad (2)$$

$$c_t = 1 - \sum_{k,l=1}^m \frac{|x_{kt} - x_{lt}|}{m * (m-1)/2}, k, l \in [1, m], k \neq l \tag{3}$$

$$d_t = D(x_t, c_t) = \sqrt{x_t c_t} \tag{4}$$

式(2)~(4)中: x_t 、 c_t 、 d_t 分别为系统的综合发展度、协调度和协调发展度, x_{it} 、 x_{kt} 、 x_{lt} 分别为第*i*、*k*和*l*个子系统*t*时间的发展度得分,*m*是子系统的数量。本文中*i*=1、2、3,分别代表耕地利用经济、社会和环境效率子系统,*t*为2001—2016年, x_{it} 为各时间点的耕地利用经济、社会和环境效率值,*m*值为3。

三、实证分析

本文以2001—2016年黑龙江垦区9个管理局耕地利用投入及产出为基础数据(数据来源为2002—2017年《黑龙江垦区统计年鉴》),通过模型测算分析研究区耕地利用生态效率变化趋势、效率损失来源及耕地利用生态效率协调发展度,探究耕地利用生态效率及其内部协调性的提升策略。

1. 耕地利用生态效率测度结果

依据黑龙江省各管理局2001—2016年耕地利用效率逐年变化的折线特征,确定以4年为间隔划分4个阶段:2001—2004年、2005—2008年、2009—2012年和2013—2016年,每4年取均值代表该阶段的耕地利用生态效率及其非效率来源平均状况。

(1)耕地利用生态效率变化特征分析(表2)。总体来看,2001—2016年黑龙江垦区各管理局耕地利用生态效率呈波动上升趋势,变化幅度不大,各管理局耕地利用生态效率差异明显。16年来,建三江和牡丹江管理局耕地利用生态效率稳定在1左右,北安、九三和齐齐哈尔管理局耕地利用生态效率相对较低,其他管理局耕地利用生态效率均值均大于0.8。其中,宝泉岭和九三管理局耕地利用生态效率波动上升,变化幅度不大;绥化管理局前两阶段耕地利用生态效率接近1,后两阶段效率值明显降低;哈尔滨和北安管理局耕地利用生态效率不断升高,且北安管理局耕地利用效率提升速度快、幅度大。红兴隆和齐齐哈尔管理局耕地利用效率呈降低—升高趋势。不难发现,多数管理局耕地利用效率值在第二阶段或第四阶段存在明显变化:即效率值在第二阶段降低,第四阶段升高。2003年,中国大力扶持农业发展,实行税费改革并取消农业税政策,直接提高了农民农业生产积极性,导致2004年黑龙江垦区耕地面积和粮食产量大幅度增加,提高了耕地利用效率,但2005年之后政策效应逐渐消散,导致第二阶段各管理局耕地利用效率相比第一阶段有所下降。2013年,《黑龙江省“两大平原”现代农业综合配套改革试验总体方案》正式获批,黑龙江垦区大力完善农业基础设施建设,优化农业结构和布局,且农业补贴有所增加,有效增加了耕地利用效率提升的内在动力,导致耕地利用效率相比第三阶段有了明显而长效的提升。农业政策对于提升耕地利用效率产生了有效的促进作用,长期可持续的政策效应对于保障耕地利用效率稳定提升十分重要。总之,绥化和齐齐哈尔管理局是耕地利用生态效率的重点提升对象,北安管理局耕地利用生态效率提升较快。主要由于北安管理局注重耕地资本和管理技术投入,走内涵扩大再生产的耕地利用模式,在玉米种植方面,采用早密栽培技术模式,实现玉米早熟、多产与优质的目标,此外,应用测土配方施肥技术,对于促进种植户科学合理施肥、节本增收以及减小农业面源污染起到积极作用,可为其他管理局提供一定的借鉴作用。

表 2 2001—2016 年黑龙江垦区各管理局耕地利用生态效率

管理局名称	2001—2004	2005—2008	2009—2012	2013—2016	均值
宝泉岭	0.715	0.830	1.000	0.937	0.871
红兴隆	0.978	0.820	0.756	0.951	0.876
建三江	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
牡丹江	1.000	0.930	0.971	1.000	0.975
北安	0.522	0.538	0.679	0.917	0.664
九三	0.566	0.637	0.775	0.752	0.683
齐齐哈尔	0.815	0.626	0.548	0.627	0.654
绥化	0.923	1.000	0.695	0.718	0.834
哈尔滨	0.774	1.000	1.000	1.000	0.944

(2)耕地利用生态非效率来源分析(表 3)。从投入和产出两方面对耕地利用生态效率损失进行分解,具体分为投入冗余导致的投入非效率(IE_R)、期望产出不足导致的经济产出非效率(IE_E)和社会产出非效率(IE_S)、非期望产出冗余带来的环境产出非效率(IE_P)。总体来看,2001—2016 年黑龙江垦区各管理局几乎不存在经济产出非效率,效率损失的主要原因为投入非效率、社会产出非效率和环境产出非效率,且投入非效率值普遍高于社会产出非效率和环境产出非效率,说明投入冗余对耕地利用效率的负向影响最大。16 年来,除了建三江和牡丹江管理局,其他管理局均存在一定程度的耕地利用效率损失,且耕地利用非效率来源具有一定差异。第一阶段,红兴隆和绥化管理局耕地利用非效率低于 0.1,主要来源于投入冗余和社会产出不足,宝泉岭、齐齐哈尔和哈尔滨管理局耕地利用非效率在 0.2~0.3 之间,主要来源于投入冗余,北安和九三管理局耕地利用非效率高于 0.5,主要来源于投入冗余、社会产出不足和环境产出冗余。第二阶段,宝泉岭、绥化和哈尔滨管理局耕地利用非效率大幅度降低,且绥化和哈尔滨管理局非效率值降为 0,齐齐哈尔和红兴隆管理局耕地利用非效率均升高,主要由于耕地投入非效率升高,北安和九三管理局耕地利用非效率略微降低。第三阶段,宝泉岭、北安和九三管理局耕地利用非效率大幅度降低,且宝泉岭管理局非效率值降为 0,红兴隆、齐齐哈尔和绥化管理局耕地利用非效率升高,主要由于耕地投入冗余和环境产出冗余增加,哈尔滨管理局耕地利用非效率趋于平稳。第四阶段,九三管理局耕地利用非效率升高,主要由于耕地投入冗余增加,其余管理局耕地利用非效率均有所降低或趋于平稳,其中红兴隆和北安管理局非效率降低幅度较大。可以看出,九三、齐齐哈尔和绥化管理局耕地利用非效率值处于波动状态,第四阶段效率损失较严重,耕地投入冗余仍是其效率损失的主要原因,社会产出不足和环境产出冗余问题也需得到足够重视。

表 3 2001—2016 年黑龙江垦区耕地利用生态非效率分解

管理局 名称	2001—2004				2005—2008				2009—2012				2013—2016							
	IE_R	IE_E	IE_S	IE_P																
宝泉岭	0.242	0.000	0.005	0.047	0.294	0.152	0.000	0.001	0.015	0.168	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.052	0.000	0.000	0.000	0.052
红兴隆	0.011	0.000	0.011	0.002	0.023	0.141	0.000	0.040	0.009	0.190	0.228	0.000	0.003	0.019	0.249	0.047	0.000	0.000	0.002	0.049
建三江	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
牡丹江	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.055	0.000	0.016	0.000	0.071	0.022	0.000	0.004	0.004	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
北安	0.338	0.000	0.152	0.121	0.612	0.324	0.000	0.142	0.124	0.589	0.246	0.000	0.024	0.088	0.359	0.041	0.000	0.000	0.024	0.065
九三	0.290	0.000	0.144	0.117	0.551	0.256	0.000	0.116	0.092	0.464	0.178	0.000	0.022	0.063	0.264	0.206	0.000	0.034	0.075	0.315
齐齐哈尔	0.150	0.000	0.012	0.045	0.207	0.309	0.000	0.054	0.051	0.413	0.402	0.000	0.002	0.074	0.478	0.332	0.000	0.001	0.030	0.363
绥化	0.061	0.000	0.016	0.008	0.085	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.233	0.000	0.078	0.026	0.337	0.229	0.000	0.010	0.053	0.292
哈尔滨	0.207	0.000	0.014	0.021	0.242	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

2. 耕地利用生态效率内部协调性分析

不同阶段各管理局耕地利用生态效率内部协调发展状态差异明显(表 4)。本文运用自然断裂法,以组间方差最大、组内方差最小原理,对研究区耕地利用生态效率内部协调发展度数值进行聚类处理,将耕地利用生态效率内部协调发展状况量化分级,以设定耕地利用生态效率内部协调发展判别标准,共分为 5 个级别,Ⅰ~Ⅴ级分别为优质、良好、中级、初级和勉强协调发展类(表 5)。16 年来,建三江和牡丹江管理局耕地利用生态效率内部协调发展度较高,基本处于优质协调,其余管理局各阶段协调发展度有所波动。对比来看,各管理局耕地利用经济和社会效率普遍低于环境效率,相对环境效率表现出一定的滞后性,影响了耕地利用生态效率的内部协调性。宝泉岭、北安、九三和哈尔滨管理局协调发展度有所升高,其中宝泉岭管理局由初级协调发展提升为良好协调发展,北安管理局由勉强协调发展提升为优质协调发展,九三管理局由初级协调发展提升为中级协调发展,哈尔滨管理局由初级协调发展提升为优质协调发展;红兴隆管理局协调发展度呈 U 型变化趋势,由优质协调发展变为优质协调发展。齐齐哈尔和绥化管理局协调发展度有所降低,齐齐哈尔管理局由中级协调发展降低为勉强协调发展,绥化管理局由良好协调发展降低为初级协调发展。对比各管理局耕地利用生态效率内部协调度与耕地利用生态效率,可知即耕地利用生态效率越高其内部协调性越高,但二者具有逻辑上的区别性,耕地利用生态效率反映耕地利用状况的外在表现,耕地利用生态效率内部协调性则反

映耕地利用状况的内部统一,可作为衡量耕地利用可持续发展情况的重要指标。可以看出,齐齐哈尔和绥化管理局耕地利用经济和社会效率滞后性较强,需主要通过减少耕地投入冗余进一步提升其耕地利用经济和社会效率,以达到耕地利用经济、社会和环境效率的协调发展。

表 4 2001—2016 年黑龙江垦区耕地利用经济效率(E_1)、社会效率(E_2)、环境效率(E_3)及其协调发展度(d_t)

管理局名称	2001—2004				2005—2008				2009—2012				2013—2016			
	E_1	E_2	E_3	d_t												
宝泉岭	0.751	0.754	0.948	0.774	0.842	0.847	0.984	0.849	1.000	1.000	1.000	1.000	0.938	0.948	1.000	0.938
红兴隆	0.989	0.979	0.988	0.986	0.859	0.827	0.953	0.855	0.772	0.770	0.978	0.779	0.953	0.953	0.998	0.954
建三江	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
牡丹江	1.000	1.000	1.000	1.000	0.945	0.930	0.984	0.940	0.978	0.975	0.992	0.979	1.000	1.000	1.000	1.000
北安	0.662	0.577	0.765	0.707	0.676	0.594	0.768	0.715	0.742	0.738	0.891	0.785	0.935	0.959	0.976	0.951
九三	0.710	0.623	0.775	0.732	0.744	0.678	0.820	0.778	0.822	0.808	0.918	0.851	0.794	0.782	0.902	0.832
齐齐哈尔	0.850	0.842	0.944	0.871	0.691	0.656	0.901	0.710	0.588	0.597	0.924	0.622	0.643	0.668	0.970	0.654
绥化	0.939	0.928	0.977	0.941	1.000	1.000	1.000	1.000	0.767	0.711	0.904	0.768	0.755	0.765	0.939	0.781
哈尔滨	0.793	0.785	0.967	0.799	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

四、结论与启示

生态效率作为衡量可持续发展的重要分析工具对于耕地利用具有较好的适用性,本文通过系统界定耕地利用生态效率内涵、构建 DEA 效率混合测度模型,实证分析黑龙江垦区耕地利用生态效率、非效率来源及耕地利用生态效率内部协调性,得到如下结论:

(1)耕地利用生态效率是耕地利用经济、社会和环境效率的综合体现。2001—2016 年黑龙江垦区各管理局耕地利用生态效率呈波动上升趋势,变化幅度不大,各管理局耕地利用生态效率差异明显。建三江和牡丹江管理局耕地利用生态效率稳定在 1 左右,北安、九三和齐齐哈尔管理局耕地利用生态效率相对较低,其他管理局耕地利用生态效率均值均大于 0.8。绥化和齐齐哈尔管理局是耕地利用生态效率的重点提升对象,北安管理局耕地利用生态效率提升较快,可为其他管理局起一定借鉴作用。

(2)2001—2016 年黑龙江垦区各管理局几乎不存在经济产出非效率,效率损失的主要原因为投入非效率、社会产出非效率和环境产出非效率,且投入非效率值普遍高于社会产出非效率和环境产出非效率,投入冗余对耕地利用效率的负向影响最大。九三、齐齐哈尔和绥化管理局耕地利用非效率值处于波动状态,第四阶段效率损失较严重,调整优化耕地利用投入结构是降低其耕地利用效率损失的关键,社会产出不足和环境产出冗余问题也需得到足够重视。

(3)2001—2016 年建三江和牡丹江管理局耕地利用生态效率内部协调发展度较高,基本处于优质协调,其余管理局各阶段协调发展度有所波动。各管理局耕地利用经济和社会效率普遍低于环境效率,相对环境效率表现出一定的滞后性,这是影响耕地利用生态效率的内部协调性的主要原因。齐齐哈尔和绥化管理局耕地利用生态效率的内部协调度相对较低,需主要通过减少耕地投入冗余进一步提升其耕地利用经济和社会效率,以达到耕地利用经济、社会和环境效率的协调发展。

随着社会发展和科技进步,耕地利用效率损失问题越来越复杂,人们对耕地利用效率的认识和研究逐渐深入。本文结合当前社会发展需求和研究趋势,提出了多要素协同发展的耕地利用生态效率内涵,并探讨各要素之间的协调发展状态,耕地利用生态效率及其内部协调发展度从不同侧面反映了耕地利用状况,在进行区域耕地利用效率评价时,应同时将二者作为评价的关键因素,兼顾区域耕地利用内部经济、社会和环境效率之间的协调性,从内生性角度解决耕地利用效率低下问题,促进耕地利用经济、社会和环境效率的同步提升,实现农业的可持续发展。但随着耕地开发利用程度不断增加,人类对于耕地的认知不断加深,如何进一步完善耕地利用生态效率内涵,更加客观全面地选取耕

表 5 耕地利用生态效率内部协调发展分类及判别标准

级数	d_t	类别
I	[0.945, 1.000)	优质协调发展类
II	[0.889, 0.945)	良好协调发展类
III	[0.808, 0.889)	中级协调发展类
IV	[0.707, 0.808)	初级协调发展类
V	[0.521, 0.707)	勉强协调发展类

地利用投入和产出指标需进一步深入探索。耕地利用生态效率损失是由内部和外部因素共同作用导致,在考虑耕地利用内生性因素的同时,结合耕地资源禀赋、农业技术水平等外部因素揭示耕地利用效率损失原因及区域差异,因地制宜地制定提高区域耕地利用生态效率的具体措施是下一步的研究重点。

参 考 文 献

- [1] WBCSD. Eco-efficiency: leadership for improved economic and environmental performance[M]. Geneva: WBCSD, 1996: 3-16.
- [2] FUSSLER C. The development of industrial eco-efficiency[J]. Industry and environment (Chinese version), 1995, 17(4): 71-74.
- [3] VAN MIDDELAAR C E, BERENTSEN P, DOLMAN MA, et al. Eco-efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese[J]. Livestock science, 2011, 139(1): 91-99.
- [4] YANG W, JIN F, WANG C, et al. Industrial eco-efficiency and its spatial-temporal differentiation in China[J]. Frontiers of environmental science & engineering, 2012, 6(3): 1-10.
- [5] ZHANG B, HUANG H P, BI J. Regional eco-efficiency analysis based on material flow analysis and data envelopment analysis: case study of Jiangsu Province[J]. Acta ecologica sinica, 2009, 29(5): 2474-2480.
- [6] HAN R L, TONG L J, SONG Y N. Analysis of circular economy of Liaoning Province based on eco-efficiency[J]. Acta ecologica sinica, 2011, 31(16): 4732-4740.
- [7] 潘丹, 应瑞瑶. 中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析[J]. 生态学报, 2013, 33(12): 3837-3845.
- [8] 张子龙, 鹿晨昱, 陈兴鹏, 等. 陇东黄土高原农业生态效率的时空演变分析——以庆阳市为例[J]. 地理科学, 2014, 34(4): 472-478.
- [9] 游和远, 吴次芳, 林宁, 等. 基于数据包络分析的土地利用生态效率评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 309-315.
- [10] 崔玮, 苗建军, 杨晶. 基于碳排放约束的城市非农用地生态效率及影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(7): 63-69.
- [11] 杨朔, 李世平, 罗列. 陕西省耕地利用效率及其影响因素研究[J]. 中国土地科学, 2011, 25(2): 47-54.
- [12] 杨俊, 李争. 耕地转入稻农生产行为及其耕地利用技术效率研究——以赣抚平原农区的农户样本为例[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2016(6): 109-114, 146.
- [13] 赵文晖. 基于改进生态足迹模型的保定市耕地利用生态效率研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
- [14] 陈黎明, 王文平, 王斌. “两横三纵”城市化地区的经济效率、环境效率和生态效率——基于混合方向性距离函数和合图法的实证分析[J]. 中国软科学, 2015(2): 96-109.
- [15] 张立新, 朱道林, 谢保鹏, 等. 中国粮食主产区耕地利用效率时空格局演变及影响因素——基于 180 个地级市的实证研究[J]. 资源科学, 2017, 39(4): 608-619.
- [16] 李俏, 谷国锋, 姚丽, 等. 黑龙江垦区耕地利用效率变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(4): 30-35.
- [17] 李波, 张俊彪, 李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(8): 80-86.
- [18] 王宝义, 张卫国. 中国农业生态效率测度及时空差异研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(6): 11-19.
- [19] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [20] TONE K. A hybrid measure of efficiency in DEA [R]. GRIPS Policy Information Center Research Report, 2004.
- [21] 顾培亮. 系统分析与协调[M]. 天津: 天津大学出版社, 1998.
- [22] 陈长杰, 马晓微, 魏一鸣, 等. 基于可持续发展的中国经济-资源系统协调性分析[J]. 系统工程, 2004(3): 34-39.
- [23] 范斐, 孙才志, 王雪妮. 社会、经济与资源环境复合系统协同进化模型的构建及应用——以大连市为例[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(2): 413-419.
- [24] 李彦. 区域土地利用系统协同管理的理论与方法研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.

(责任编辑: 陈万红)