

福建省农业环境效率及影响因素分析

—基于EBM模型和面板模型Tobit

刘德娟, 曾玉荣

(福建省农业科学院农业经济与科技信息研究所, 福州 350003)

摘要: 本文运用EBM模型和随机面板Tobit模型对福建省2000~2017年9地市农业环境效率进行测算, 并分析了福建省农业环境效率的地市间差异及影响因素。结果表明, 2000~2017年, 福建省农业环境效率总体呈下降趋势, 地区之间差异明显, 人均农业增加值与农业环境效率之间存在“正U型”库兹涅茨曲线关系, 对外开放水平对环境效率产生正的影响效应, 而工业化水平、城乡收入差距和农药使用强度对福建省农业环境效率产生负的影响效应。

关键词: 农业环境效率; 影响因素; EBM模型; 面板Tobit模型

中图分类号: F303

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)04-0122-06

Analysis of Agricultural Environmental Efficiency and Its Influencing Factors in Fujian Province

—Based on EBM Model and Panel Tobit Model

LIU Dejuan, ZENG Yurong

(Institute of Agricultural Economics and Sci-technological Information, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China)

Abstract: The EBM model and the random panel Tobit model are used to measure the agricultural environmental efficiency of the nine cities in Fujian Province from 2000 to 2017, and to analyze the influencing factors of the agricultural environmental efficiency. The results show that the agricultural environmental efficiency shows a general downward trend in Fujian Province, and the differences between the regions are obvious. There is a "positive U-shaped" Kuznets curve relationship between the agricultural added value per capita and the agricultural environmental efficiency. The level of openness has a positive impact on environmental efficiency, while the level of industrialization, the income gap of urban-rural and the intensity of pesticide have a negative impact on the efficiency of agricultural environmental in Fujian Province.

Key words: Agricultural environmental efficiency; Influencing factors; EBM model; Panel Tobit model

40年的改革和发展, 中国的农业农村发生了深刻的变化, 食物需求随着收入的提高而显著增长, 但中国用世界5%的淡水资源和8%的可耕地, 到2016年还能提供18.5%世界人口的95%的食物^[1]。中国农业发展取得了举世瞩目的成就, 但近年来农业资源枯竭、环境恶化、化肥农药流失严重等问题已经影响了经济的可持续发展。如何解决农业发展与环境之间的矛盾是摆在我们面

前的重要课题。在粮食生产日益萎缩, 经济作物日益扩大的背景下, 如何客观地评价福建省农业环境效率的增长, 探究农业可持续发展的源泉和地区差异, 帮助经济与环境发展不协调地区找到制约农业可持续发展的影响因素, 提高农业绿色生产率, 对各地区因地制宜制定和落实相应措施与激励政策提供理论依据。

自Färe等^[2]首次提出将数据包络分析其应用于环境效率评价工作中, 已引起越来越多国内外学者关注。从现有文献来看, 在考虑非期望产出的前提下, 主要把非期望产出分为投入要素^[3-4]、非期望产出的强可处置性^[5]、弱可处置性^[6]以及物料守恒法^[7-9]几个方面。近年来, 国内对非期望产出的核算主要从碳排放^[10-11]和面源污染单元^[12-15]

收稿日期: 2019-09-15

基金项目: 福建省科技计划项目-省属公益类科研院所基本科研专项(2017R1015-6); 福建省农业科学院农业政策与乡村发展创新团队项目(STIT2017-2-7)

作者简介: 刘德娟(1976-), 女, 副研究员, 博士, 研究方向: 农业经济、日本农业。

两个方面入手。同时,还有部分学者对农业环境效率的影响因素进行了分析,如田伟等^[10]分别从生产特征、技术条件、能源结构和社会结构四个方面进行了探讨。王连芬等^[16]研究发现,全国范围内,产业结构、人均收入以及对外贸易水平与环境效率正相关,政府规制与环境效率负相关,对各地区的影响呈现出较大的地区差异。王宝义等^[17]从人均农业增加值、农业规模化水平、农业受灾率、农业机械密度、农民家庭经营收入比等指标进行分析。以上国内文献主要是针对国内省级面板数据进行测算,并对其影响因素进行分析。针对区域采用能够兼顾非径向和径向的EBM模型对福建省各地市农业环境效率的测算并不丰富,为此本文采用考虑农业的非期望产出包括碳排放和农业面源污染,其中农业碳排放的来源参考李波^[18]的做法来估算农业碳排放,采用化肥氮流失量、磷流失量和农药流失量来表征面源污染。

1 研究方法和指标数据选择

1.1 研究方法

1.1.1 EBM模型

伴随着农业生产将不可避免地产生农药流失及氮、磷、二氧化碳排放等非期望产出。在考虑非期望产出的前提下,目前学术界广泛采用的方法是非径向、非角度的SBM模型,但SBM模型不能处理投入和产出变量之间兼具径向和非径向特征的情况。而EBM模型(Tone和Tsutsui 2010)可以处理包含径向和非径向同时存在的情况,能够弥补传统DEA模型和SBM模型的不足,对环境效率的评价更为合理。因此本文采用非导向的、基于非期望产出的EBM模型对福建省九地市2000~2017年农业环境效率进行评价。

非导向EBM模型可表示为:

$$\min \frac{\theta - \varepsilon^- \frac{1}{\sum_{i=1}^m w_i^- s_i^-} x_k}{\varphi + \varepsilon^+ \frac{1}{\sum_{r=1}^q w_r^+ s_r^+} y_k}$$

$$s.t. \quad X\lambda - \theta x_k + s^- = 0$$

$$Y\lambda - \varphi y_k - s^+ = 0$$

$$\lambda \geq 0, s^- \geq 0, \theta \leq 1, \varphi \geq 1 \dots\dots\dots (1)$$

其中, λ 为决策单元的线性组合系数, m 为投入指标的个数, q 为产出指标的个数, s^- 和 s^+ 分别表示投入和产出的松弛变量, θ 为径向效率值, w

为各项投入指标的相对权重。 ε 是一个关键参数, $0 \leq \varepsilon \leq 1$,表示在效率值的计算中非径向部分的重要程度,如果 $\varepsilon=0$,则EBM模型等同于径向模型; $\varepsilon=1$,则EBM模型转变为SBM模型。

1.1.2 随机效应面板Tobit模型

上述计算得到农业环境效率是介于0和1之间的具有非负截断特征的变量,对于受限因变量的估计,采用最小二乘法通常会使估计结果有偏,因此,采用面板Tobit模型更为合适。本文采用随机效应面板Tobit模型进行估计。其公式如下:

$$AEEit = \beta_0 + \sum_j \beta_j X_{jit} + \mu_i + \varepsilon_{it} \dots\dots\dots (2)$$

式中,AEEit为农业环境效率, i 和 t 分别表示第 i 个地市和第 t 年, β_0 表示截距项, β_j 表示环境效率影响因素的待估系数, X_{jit} 表示影响因素, μ_i 为个体相应, ε_{it} 为随机误差项。

1.2 指标数据选择

本文以种植业为研究对象,参考现有文献的指标设定,如表1所示拟设定评价农业环境效率的投入产出指标及表征变量。研究数据来源于《福建农村统计年鉴》(2011~2018年)和《福建统计年鉴》(2011~2018年),个别缺失数据从福建省各地市统计年鉴补充。

根据已有研究的指标选取和种植业生产特征,共选取8个投入指标,1个期望产出指标和4个非期望产出指标。对于农业期望产出指标采用农业总产值也就是种植业总产值来表征,为消除

表1 投入产出指标及表征变量

| 指标 | 变量及说明 | |
|---------|-------|----------------------------------|
| 投入指标 | 土地投入 | 农作物总播种面积(667 m ²) |
| | 劳动力投入 | 农林牧渔业从业人员×(农业总产值/农林牧渔业总产值)(人) |
| | 化肥投入 | 化肥施用量(折纯,万t) |
| | 农药投入 | 农药使用量(万t) |
| | 农膜投入 | 农膜使用量(万t) |
| | 柴油投入 | 农用柴油使用量(万t) |
| | 灌溉投入 | 有效灌溉面积(667 m ²) |
| 期望产出指标 | 机械投入 | 农用机械总动力(kW) |
| | 农业总产值 | 农业总产值(万元) |
| 非期望产出指标 | 污染排放 | 总氮(万t) 总磷(万t) |
| | 碳排放 | 农药流失量(万t) |
| | 碳排放 | 化肥、农药、农膜、农用柴油、农业灌溉、农业翻耕碳排放综合(万t) |

物价因素的影响,将数据调整为以2000年为不变价格的农业总产值。4个非期望产出包括种植业总氮、总磷、农药流失量和碳排放。其碳排放主要考虑农业生产过程中化肥、农药、农膜、柴油、翻耕和灌溉所引起的碳排放量。其计算公式为 $E = \sum E_i = \sum T_i \times \delta_i$, 式中E为农业的碳排放总量, E_i 为各种碳源的碳排放量, T_i 为各碳排放源的量, δ_i 为各碳排放源的碳排放系数。其中,农业碳排放系数参照李波等^[18],化肥、农药、农膜、柴油、翻耕和农业灌溉的碳排放系数分别是0.895 6 kg/kg, 4.934 1 kg/kg, 5.18 kg/kg, 0.592 7 kg/kg, 312.6 kg/km²和20.476 kg/km²。

2 农业环境效率的地区差异及影响因素分析

2.1 九地市农业环境效率的地区差异

分别采用不考虑非期望产出的效率DEA、采用考虑非期望产出的SBM模型和EBM模型测算的结果(见表2)。从结果中发现,在不考虑非期望产出的情形下,效率值均值为0.919 5,明显高于考虑非期望产出的效率均值0.788 4和0.879 4。而考虑非期望产出的非径向非角度的SBM模型测度的效率均值最低为0.788 4,综合非径向SBM模型理论,损失了投入或产出目标值与实际值之间的比例信息,忽略了非径向松弛变量的影响会低估决策单元的效率。而EBM模型恰好能够兼顾非径向和径向DEA模型的优势,因此测算的结果相对更合理更接近真实效率,其效率均值0.879 4高于SBM模型测算的结果0.788 4。

表2 不同模型测度的效率比较

| 地区 | DEA | SBM | EBM |
|----|---------|---------|---------|
| 漳州 | 1 | 1 | 1 |
| 福州 | 1 | 1 | 1 |
| 三明 | 0.998 9 | 0.976 6 | 0.987 1 |
| 龙岩 | 0.977 4 | 0.974 1 | 0.985 3 |
| 厦门 | 0.985 9 | 0.941 8 | 0.969 7 |
| 泉州 | 0.978 6 | 0.918 7 | 0.954 5 |
| 宁德 | 0.895 9 | 0.669 0 | 0.814 7 |
| 莆田 | 0.789 6 | 0.519 7 | 0.701 1 |
| 南平 | 0.705 3 | 0.411 4 | 0.611 5 |
| 均值 | 0.919 5 | 0.788 4 | 0.879 4 |

从表2得知,无论采用哪一种模型,漳州和福州地区均位于生产前沿面,效率值为1,龙岩地区在不考虑非期望产出条件下的效率值为0.977 4,

低于考虑非期望产出EBM模型计算得到的效率值0.985 3,而其他地区不考虑非期望产出条件下的效率值均大于考虑非期望产出EBM模型计算得到的效率值。其中,南平、莆田和宁德环境效率值较低,三明、龙岩、厦门和泉州四地市效率值居中,位于0.9和1区间。

福建省九地市2000~2017年农业环境效率如表3所示。首先按照环境效率高可划分为较高地区、中等地区和较低地区三个等级,其中环境效率较高地区是漳州和福州,一直保持在生产前沿面;其次是三明、龙岩、厦门和泉州,只有少数年份环境效率值较低;环境效率较低地区依次是南平、莆田和宁德地区,存在较大的上升空间。进一步观察研究期间内九地市前9年效率均值0.915 0明显高于后9年效率均值0.846 3,除了漳州和福州位于生产前沿面以外,三明和龙岩的环境效率分别在2017年和2015年由原来的1下降到0.791 1和0.765 8,泉州在2016年和2017年也呈现了明显下降的态势,南平、莆田和宁德三地市环境效率整体下降明显;而厦门在2003年以后发生了追赶效应,环境效率位于生产前沿面直至2017年,可能的原因是随着经济的快速发展,厦门更加注重经济与环境的协调发展并取得了一定的成效,环境管制促进了技术进步。而泉州、宁德、莆田和南平四地市农业与环境的关系出现恶化状态,凸显了农业发展与环境的非协调性,从时间维度来看环境效率呈现了下降的趋势。经济发展水平较快的福州、厦门和漳州,其农业环境效率也较高,而三明属于福建省典型农业发展地区,除2017年外的其他年份其农业环境效率保持了较高的水平,但有些典型农业发展地区如南平和宁德农业环境效率位于较低水平,经济发展较快的泉州其环境效率在2015年以前一直位于生产前沿面,但2016~2017年呈现下降的趋势。可能的原因是由于地市间自然禀赋差异、经济发展差异,农业和农村基础设施差异、财政支农差异、农业投入的差异等因素综合作用的结果。

2.2 影响农业环境效率的主要因素

本文选择了4个对方程(2)所示的受限随机效应面板模型Tobit进行回归(表4),根据解释变量的不同,模型1考察了人均农业增加值与农业环境效率之间的关系;模型(2)考察了与经济结构发展和农业政策支持相关的外部因素;模型(3)考察了农业生产特征因素;模型(4)考虑了上述所有变量对农业环境效率的影响。从表4的估

表3 福建省九地市农业环境效率(2000~2017年)

| | 漳州 | 福州 | 三明 | 龙岩 | 厦门 | 泉州 | 宁德 | 莆田 | 南平 | 均值 |
|--------------|----|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2000 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.8093 | 1 | 1 | 1 | 0.7006 | 0.9389 |
| 2001 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.8233 | 1 | 1 | 1 | 0.7047 | 0.9413 |
| 2002 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.8626 | 1 | 1 | 0.7711 | 0.7054 | 0.9194 |
| 2003 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6541 | 0.9539 |
| 2004 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.8939 | 0.8327 | 0.6408 | 0.9210 |
| 2005 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7377 | 0.6944 | 0.9284 |
| 2006 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.8146 | 0.6563 | 0.6700 | 0.8922 |
| 2007 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7584 | 0.6280 | 0.6475 | 0.8775 |
| 2008 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7289 | 0.5946 | 0.6107 | 0.8627 |
| 2009 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7689 | 0.6183 | 0.6374 | 0.8758 |
| 2010 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7712 | 0.6226 | 0.6225 | 0.8744 |
| 2011 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7410 | 0.6462 | 0.5959 | 0.8699 |
| 2012 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7186 | 0.6377 | 0.5785 | 0.8629 |
| 2013 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7044 | 0.6157 | 0.5565 | 0.8539 |
| 2014 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.6216 | 0.5233 | 0.8827 |
| 2015 | 1 | 1 | 1 | 0.7658 | 1 | 1 | 0.6712 | 0.6062 | 0.5210 | 0.8171 |
| 2016 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7022 | 0.6535 | 0.6197 | 0.5174 | 0.8082 |
| 2017 | 1 | 1 | 0.7911 | 1 | 1 | 0.6157 | 0.6367 | 0.6333 | 0.4955 | 0.7719 |
| 2000~2008年均值 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.9439 | 1 | 0.9106 | 0.8023 | 0.6698 | 0.9150 |
| 2009~2017年均值 | 1 | 1 | 0.9768 | 0.9740 | 1 | 0.9242 | 0.7406 | 0.6246 | 0.5609 | 0.8463 |
| 2000~2017年均值 | 1 | 1 | 0.9871 | 0.9853 | 0.9697 | 0.9545 | 0.8147 | 0.7011 | 0.6115 | 0.8794 |

表4 农业环境效率影响因素

| 变量 | 模型1 | 模型2 | 模型3 | 模型4 |
|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 人均农业增加值(对数) | -0.935***(0.191) | | | -1.155***(0.207) |
| 人均农业增加值(对数平方) | 0.056***(0.012) | | | 0.072***(0.013) |
| 财政支农水平 | | -0.836***(0.241) | | -0.452(0.325) |
| 工业化水平 | | -0.419***(0.139) | | -0.373***(0.129) |
| 对外开放水平 | | 0.176***(0.066) | | 0.156**(0.062) |
| 城乡收入差距 | | 0.079(0.174) | | -0.431***(0.168) |
| 农业机械密度 | | | -0.074(0.077) | 0.058(0.082) |
| 农业规模化水平 | | | -0.003(0.028) | 0.004(0.025) |
| 化肥施用强度 | | | 0.001(0.001) | 0.0004(0.001) |
| 农药使用强度 | | | -0.107***(0.024) | -0.056**(0.022) |
| 常数项 | 4.769***(0.746) | 1.045***(0.107) | 1.072***(0.084) | 5.824***(0.827) |
| 个体效应标准差 | 0.152***(0.036) | 0.144***(0.037) | 0.132***(0.034) | 0.147***(0.038) |
| 干扰项标准差 | 0.075***(0.004) | 0.076***(0.004) | 0.076***(0.004) | 0.064***(0.004) |
| Rho | 0.807 | 0.783 | 0.749 | 0.840 |
| 似然比 | 171.362 | 168.806 | 169.483 | 195.127 |

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著,括号内为回归系数的标准误差

计结果可以看出均呈现出个体效应的存在,并且,4个模型当中的Rho值均超过0.5,说明选用随机效应面板Tobit模型较为合适。模型(1)主要验证了人均农业增加值与农业环境效率之间是否存在“正U型”库兹涅茨曲线关系,结果显示,两者之间存在“正U型”曲线关系。也就是说随着农业

经济的增长,农业环境污染的程度将呈现上升的趋势,随着人均农业增加值的进一步提高,环境污染程度会呈逐年下降的趋势。即经济发展初期,主要考虑产出,当产出达到一定程度,对环境的破坏程度愈发明显,农业的生产将由单纯追求产出转向兼顾环境发展的可持续农业发展上,从

而促进农业环境效率的提高。

从模型(2)的结果可以看出,4个外部因素中财政支农水平、工业化水平和对外开放水平均通过了1%的显著性水平检验,而城乡收入差距未通过显著性水平检验。其中财政支农水平的系数为负,也就是说随着政府财政支农水平的提高,倾向于对农业化肥、农药的过多投入而导致环境效率下降。工业化水平的系数为负,说明工业的发展促进石油农业的发展,从而导致环境效率下降。而对外开放水平的系数为正,说明改革开放促使更多先进技术、品种等被引入,加快农民对农业新技术的掌握,从而提高农业环境效率。虽然改革开放会导致国内农产品市场受到挤压,但在本文当中综合作用结果显示为正,对农业环境效率的综合影响结果为正。城乡收入差距的系数为正但未通过显著性检验,说明城乡收入差距对环境效率的影响只是方向性的。

从模型(3)的结果可以看出,农业生产特征4个因素当中只有农药使用强度的系数为负,并通过了1%的显著性水平检验,而农业机械密度、农业规模化水平和化肥施用强度均未通过检验。这表明,农药使用强度在福建省对农业环境效率有显著的负向影响。其可能的原因是,在福建省的农业生产过程中过于依赖增加农药使用来提高农业产出而导致使用过量,造成过量农药的流失和碳排放的增加。而农业机械密度并未通过显著性检验,说明农业机械化在福建省并没有显著提升也没有显著抑制农业环境效率,其可能的原因是农业机械化一方面提高了生产效率,但另一方面,其使用增加了非期望产出。农业规模化水平未通过检验说明福建省农业生产规模较小,未形成规模效应。农业化肥施用强度的系数未通过显著性检验说明福建省化肥投入对农业环境效率并没有造成显著影响,其可能的原因是农业生产中化肥投入促进农业产出的增加,但同时增加了过量氮和磷的排放以及碳排放,期望产出和非期望产出同时增加导致结果并没有通过显著性检验。

从表4的结果可以看出,对外开放水平是促进农业环境效率提高的重要因素,而工业化水平和城乡收入差距是抑制农业环境效率增长的重要因素,农药使用强度也在一定程度上阻碍了农业环境效率的增长。另一方面,结合模型(2)的回归结果可以看出,财政支农水平由显著变得不显著,表明相对于其他因素,财政支农水平对提高农业环境效率的作用相对并不显著。同样,结合

模型(2)的回归结果发现,城乡收入差距由不显著变得显著,表明城乡收入差距对提高农业环境效率的作用相对比较显著。

3 研究结论

本文实证研究的主要结论为:

第一,2000~2017年,福建省农业环境效率总体呈现下降趋势,各地市农业环境效率存在明显的地区差异。漳州和福州的农业环境效率位于生产的前沿面,农业的发展与环境之间关系较为协调;南平、莆田和宁德三地市农业发展与环境之间关系趋紧,还有很大的上升空间;三明、龙岩、厦门和泉州位于二者之间。

第二,从福建各地市农业环境效率影响因素的分析结果来看,人均农业增加值与农业环境效率之间存在“正U型”库兹涅茨曲线关系,其中工业化水平、城乡收入差距和农药使用强度对福建省农业环境效率产生负的影响效应,而对外开放水平对环境效率产生正的影响效应。

上述结论可为福建省相关部门制定生态文明省发展策略提供决策参考。对于省内各地市根据各自的资源禀赋条件,因地制宜地制定政策,借鉴先进地区的发展经验,在环境规制下提高农业的生产效率。财政支农水平可以考虑针对节约资源、生态友好型农业生产方式进行支持和奖励,对减农药、减化肥行动进行补贴。有研究表明,耕地地力保护补贴政策对农户意愿和行为具有显著影响,因此可针对农户开展耕地保护的宣传教育、加强耕地保护知识培训等活动^[9]。促进资源、经济和环境的协调发展,引导农业向环境友好型、资源节约型和生态保育型农业发展,促进经济的可持续发展。

参考文献:

- [1] 黄季焜. 四十年中国农业发展改革和未来政策选择[J]. 农业技术经济, 2018(3): 4-15.
- [2] Färe R, Grosskopf S, Lovell C A K, et al. Multilateral Productivity Comparisons when Some Outputs are Undesirable: a Non-parametric Approach[J]. Review of Economics and Statistics, 1989(71): 90-98.
- [3] Pittman R W. Issue in Pollution Control: Interplant Cost Differences and Economies of Scale[J]. Land Economics, 1981(57): 1-17.
- [4] Berg S A, Forsund F R, Jansen E S. Malmquist indices of productivity growth during the deregulation of Norwegian Banking 1980-89[J]. The Scandinavian Journal of Economics, 1992(94): 211-228.

- [5] 张 可, 丰景春. 强可处置性视角下中国农业环境效率测度及其动态演进[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(1): 140-149.
- [6] Färe R, Grosskopf S, Noh D W, et al. Characteristics of a polluting technology: theory and practice[J]. Journal of Econometrics, 2005, 126: 469-492.
- [7] Coelli T, Lauwers L, Van Huylenbroeck G. Environmental efficiency measurement and the materials balance condition[J]. Journal of Productivity Analysis, 2007(28): 3-12.
- [8] Kenneth L R. Environmental efficiency measurement and the materials balance condition reconsidered[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 250(1): 342-346.
- [9] 崔 晓, 张屹山. 中国农业环境效率与环境全要素生产率分析[J]. 中国农村经济, 2014(8): 4-16.
- [10] 田 伟, 杨璐嘉, 姜 静. 低碳视角下中国农业环境效率的测算与分析—基于非期望产出的SBM模型[J]. 中国农村观察, 2014(5): 59-71, 95.
- [11] 田 云, 张俊飏, 吴贤荣, 等. 碳排放约束下的中国农业生产率增长与分解研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(11): 7-12.
- [12] 李谷成, 陈宁陆, 闵 锐. 环境规制条件下中国农业全要素生产率增长与分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(11): 153-160.
- [13] 潘 丹, 应瑞瑶. 资源环境约束下的中国农业全要素生产率增长研究[J]. 资源科学, 2013, 35(7): 1329-1338.
- [14] 韩海彬, 赵丽芬. 环境约束下中国农业全要素生产率增长及收敛分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 35(3): 70-76.
- [15] 叶初升, 惠 利. 农业生产污染对经济增长绩效的影响程度研究—基于环境全要素生产率的分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(4): 116-125.
- [16] 王连芬, 戴裕杰. 中国各省环境效率及环境效率幻觉分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(2): 69-74.
- [17] 王宝义, 张卫国. 中国农业生态效率的省际差异和影响因素—基于1996~2015年31个省份的面板数据分析[J]. 中国农村经济, 2018(1): 46-62.
- [18] 李 波, 张俊飏, 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.
- [19] 刘 航, 杨俊孝. 基于TPB与SEM的农户耕地地力保护补贴响应机制分析—以新疆奇台县为例[J]. 东北农业科学, 2019, 44(2): 81-85, 96.

(责任编辑:王丝语)



(上接第112页)

- [4] 张宝成, 彭 艳, 藏灵飞, 等. 喜旱莲子草对喀斯特三种不同生境的可塑性反应[J]. 广西植物, 2017, 37(6): 702-706.
- [5] 张宝成, 王 平, 金 星. 观赏植物与生物入侵[J]. 北方园艺, 2018(5): 178-183.
- [6] 陈韶军. 加拿大一枝黄花和小飞蓬入侵潜力综述[J]. 湖北林业科技, 2014, 43(1): 24-28.
- [7] 武维华. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 442-443.
- [8] Zhou L, Zhou X, Zhang B, et al. Different responses of soil respiration and its components to nitrogen addition among biomes: a meta-analysis[J]. Global Change Biology, 2014, 20(7): 2332-2343.
- [9] Zhang B, Zhou L, Zhou X. A global synthesis of below-ground carbon responses to biotic disturbance: a meta-analysis[J]. Global Ecology and Biogeography, 2015, 24(2): 126-138.
- [10] 刘慧芹, 沈高峰, 梁宝发, 等. 铅胁迫对黑麦草叶绿素和可溶性糖含量的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(3): 556-558.
- [11] 吴晓薇, 裴红宾, 张永清, 等. 酸模叶蓼对重金属Pb胁迫的生理响应[J]. 河南农业科学, 2013, 42(10): 105-109.
- [12] 徐小颖, 施国新, 徐勤松, 等. Mn^{2+} 对菹草活性氧代谢及其亚显微结构的影响[J]. 南京师范大学学报(自然科学版), 2009, 32(1): 105-109.
- [13] 杨德俊, 杨卫韵, 刘 鹏, 等. 锰对大豆若干生理特性的影响[J]. 亚热带植物科学, 2005, 34(2): 8-10.
- [14] 吴旭红, 张 超. 甜菜幼苗抗氧化系统对锰胁迫的生物学响应[J]. 中国甜菜糖业, 2011(3): 14-19.
- [15] 孙永林. 铅对黄瓜叶片丙二醛、脯氨酸和可溶性总糖含量的影响[J]. 长江蔬菜, 2008(12): 28-30.
- [16] 李 斌, 李志辉, 吴际友, 等. 铅胁迫对4种行道树种幼苗叶片丙二醛含量的影响[J]. 湖南林业科技, 2010, 37(2): 8-11.
- [17] 王丹媚, 杨 姣, 黄华锋, 等. 锰胁迫对虎舌红生理化的影响[J]. 贵州农业科学, 2018(4): 7-12.
- [18] 宫杰芳, 周运超, 李小永, 等. 马尾松幼苗生理指标对高锰胁迫的响应[J]. 生态学杂志, 2012, 31(3): 520-525.
- [19] 沈吉红. 锰胁迫对商陆生理及结构影响的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2009.
- [20] 张宛婷. 锰胁迫对不同品种玉米幼苗抗氧化系统及氮素转化的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- [21] 常硕其, 彭克勤, 张亚莲, 等. 加锰处理对茶树锰含量及生理变化的影响研究[J]. 茶叶科学, 2008, 28(5): 331-338.
- [22] 任立民, 刘 鹏, 蔡妙珍, 等. 水蓼、小飞蓬、杠板归和美洲商陆对锰毒的生理响应[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 81-85.

(责任编辑:王 昱)