

农业非点源污染源的环境库兹涅茨曲线实证研究

——基于陕西省农业投入和废弃物排放的研究

陈勇^{1,2}, 冯永忠^{1,2}, 杨改河^{1,2}

(1. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省循环农业工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 选取了1992~2008年陕西省总化肥投入密度、N肥投入密度、P肥投入密度、K肥投入密度、复合肥投入密度、农膜投入密度、农药投入密度、禽畜粪尿负荷和农作物秸秆负荷9个污染指标的时序数据,并建立环境库兹涅茨曲线模型,分别验证这9个指标与全省经济增长的环境库兹涅茨曲线关系,并利用EViews 5.0对参数进行估计。其中禽畜粪尿的排放通过排污系数法测算,农作物秸秆产量通过农作物经济系数测算。结果表明,化肥总量投入密度、氮肥投入密度、磷肥投入密度、钾肥投入密度、复合肥投入密度和禽畜粪尿负荷与全省人均GDP成倒“U”形EKC曲线关系,而农膜投入密度、农药投入密度和农作物秸秆负荷与全省人均GDP呈现线性增长的关系。结论:陕西省化肥投入和禽畜粪尿排放随着经济发展有减小的趋势;而农膜投入、农药投入和作物秸秆排放随着经济增长有进一步增加的趋势,政府应该采取有效措施提前预防农业非点源污染的发生。

关键词: 环境库兹涅茨曲线;实证研究;农业投入;固体废物

中图分类号: X322 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)03-0191-08

非点源污染(non-point source pollution, NPS)是相对于点源污染(point source pollution)而言的概念,也称为面源污染(diffused pollution),是指溶解性或固体污染物在大面积降水和径流冲刷作用下汇入地表水体而引起的污染^[1]。农业非点源污染(agriculture non-point source pollution, AGNPS)则是指在农业生产活动中,氮、磷等营养物质,农药、重金属等有机和无机污染物,土壤颗粒等沉积物,通过地表径流和地下渗漏,造成环境尤其是水域环境的污染^[2]。陕西省地处我国内陆腹地,位于东经105°29′~111°15′,北纬31°42′~39°35′之间。南北跨纬度7°52′,东西跨经度5°45′,与山西、河南、湖北、重庆、四川、甘肃、宁夏、内蒙古等8个省(直辖市或自治区)毗邻。陕西是中国农耕文明的发祥地,渭河横穿关中平原,形成了渭河灌区,是我国的粮食和苹果主产区之一。由于地理条件复杂多样,自然条件差异很大,全省形成了三大主要的农业类型区:即关中—旱作农业类型区、陕南—旱稻兼作农业类型区、陕北—农牧结合农业类型区^[3]。但是,随着农业现代化进程的加速、农业投入的增加以及人们物质需求的改变,农业生产经营活动过程中造成的农业非点源污染损害逐渐凸显。农业活动在支撑了人民生活和经济发展的同时,也给环境带来了很大的危害。那么,陕西在农业

发展过程中,经济增长与可能会带来农业非点源污染的农业投入和废弃物排放的变迁有何关系呢?运用环境库兹涅茨曲线(EKC)模型,对陕西省的经济发展与化肥投入、农药投入、农膜投入、禽畜粪尿排放和作物秸秆排放进行拟合,摸清经济增长与农业投入及废弃物排放的关系,这对揭示全省农业非点源污染的来源规律,制定针对陕西农业非点源污染的政策与控制措施,保护陕西农业生态环境安全都具有重要的理论意义和现实意义。

1 环境库兹涅茨曲线(EKC)研究回顾

1955年,美国经济学家库兹涅茨(Kuznets)在研究贫富差距时发现,在经济增长的初期,贫富差距会加大;但随着经济的继续增长,贫富差距会减小,即出现所谓的倒“U”型现象,称为库兹涅茨曲线^[4]。Grossman和Krueger对66个国家1979~1990年14种空气污染物和水污染物质的变动情况进行分析,发现环境变化与经济增长的长期关系也呈倒“U”型曲线,类似于库兹涅茨曲线,于是人们形象的称为环境库兹涅茨曲线(EKC)^[5]。EKC曲线假说提出后,国内外大量研究者都对该假说从各个角度进行检验,这些检验主要集中于EKC是否具有普遍性和对转折点的确定。

收稿日期:2010-01-10

基金项目:科技部“十一五”国家科技支撑项目“农田污染源头控制关键技术研究”(2006BAD17B0-01);国家水体污染控制与治理科技重大专项“黄河上游灌区农田退水污染控制与湿地生态修复关键技术研究”与示范课题“(2008ZX07212-004-01)

作者简介:陈勇(1979—),男,四川成都人,在读博士,主要从事资源与环境生态研究。

*通讯作者:杨改河(1957—),男,陕西耀县人,教授,博士生导师,主要从事资源与环境生态研究。

Shafik 和 Bandyopadhyay 的实证研究结果表明,二氧化硫和浮颗粒物的排放随人均收入的增长先恶化后改善,即经济增长与环境污染水平之间的关系具有环境库兹涅茨曲线特征^[6]。Panayotou 发现森林遭受破坏的程度与人均收入呈倒“U”型曲线,发现人均收入大约在 \$3000 \sim \\$5000\$ 时,环境质量开始好转^[7]。Kahn 对加利福尼亚州的汽车尾气排放研究发现存在倒“U”型曲线关系,并且拐点出现在 \$3500^{[8]}\$。Selden 的研究结果也证实了 EKC 曲线的存在^[9]。国内学者近年来也对 EKC 曲线展开了大量的实证研究,宋涛利用面板数据,对我国废气、废水和固体废弃物的排放量与收入之间的关系进行计量分析,结果表明变量之间存在长期的 EKC 关系^[10]。张锦文选择时序数据对宁夏的工业“三废”排放与经济发展做了计量分析,结果显示废气与固体废物的环境质量改善的转折点还未到来^[11]。袁加军和曾五一对我国生活污染物与经济发展的关系进行检验,结果显示生活污水排放与人均 GDP 之间存在倒“U”型的 EKC 曲线关系,且还处于上升阶段^[12]。从 EKC 实证研究的情况来看,研究不同污染行为、所选择的国家不同、采用不同的衡量指标、选择不同的时间跨度、采用不同的数据来源以及不同的解释变量等,所表现出的 EKC 形式不尽相同,所得出的结果也是混合的。当前对 EKC 模型的实证研究,大多采用面板数据进行分析,而该方法的假设是所有的国家或部门都遵循着相同的 EKC 发展路径^[13]。然而,有研究发现时序数据能较好地拟合 EKC 模型,而面板数据却不能得出较好的估计结果^[14]。另外,EKC 模型对于点源污染的实证研究比较多,研究集中在空气质量(二氧化硫、一氧化碳、悬浮颗粒物等)、水质(病原体浓度、重金属含量、化学需氧量等)和其他污染物质(城市废物排放量、能源利用量、森林开采量)与收入之间的关系,并得到较好的 EKC 拟合曲线^[15]。然而将 EKC 模型应用于农业非点源污染源的研究相对较少,刘扬对中国化肥投入与农业经济增长的关系进行了实证模拟^[13],而杜江研究了中国的农药和化肥投入与农业增长的关系^[15],张晖基于时序数据对江苏省的过剩氮与经济增长进行了验证^[16],都得出了较好的 EKC 变化关系。本文通过陕西省的农业投入(包括氮肥、磷肥、钾肥和复合肥、农药和农膜)和农业废弃物排放(包括禽畜粪尿和作物秸秆)与人均 GDP 的变化情况进行实证分析,研究陕西农业非点源污染与经济发展的 EKC 关系。

2 陕西省农业非点源污染的 EKC 模型建立

2.1 变量来源

农业非点源污染来源有多种,本文选取了 9 个与陕西农业非点源污染有关的变量作为污染变量,分别是化肥投入密度(kg/hm^2);氮肥投入密度(kg/hm^2);磷肥投入密度(kg/hm^2);钾肥投入密度(kg/hm^2);复合肥投入密度(kg/hm^2);农膜投入密度(kg/hm^2);农药投入密度(kg/hm^2);禽畜粪尿负荷(kg/hm^2);农作物秸秆负荷(kg/hm^2);人均 GDP 用来表示陕西省经济发展水平,为了真实反映陕西省经济发展的水平,去除通货膨胀因素,采用人均 GDP 来表示(设定 1978 年人均 GDP = 100);变量中各种化肥、农药、农膜的消费量、耕地面积、人均 GDP 来源于历年的《陕西统计年鉴》以及《中国农村统计年鉴》。陕西的禽畜粪尿产生量及农作物秸秆产生量根据相应年份的《陕西统计年鉴》以及《中国农村统计年鉴》的禽畜养殖业数据、农作物产量数据及历史文献资料进行测算,所有的变量时间跨度为 1992 ~ 2008 年,即 17 a 的时间序列数据。

2.2 陕西禽畜粪尿及作物秸秆产生量的测算依据

农业非点源污染是一种十分复杂的环境污染,目前对农业非点源污染的估算与评价,用得最多的是排污系数法^[17-21],也称为源强估算法,这是一种基于污染源的数量及其排污系数的估算方法。应用排污系数法有如下优点:不需要考虑污染的中间过程或机制、形式简单、参数较少、应用性较强。该方法在禽畜粪尿污染物排放的估算中,应用最广泛。禽畜养殖的农业非点源污染主要是禽畜粪便和尿液污染,由于受禽畜品种、饲养方式、管理水平等因素影响,粪尿的排放水平也不尽相同。基于现有研究资料,禽畜粪尿排放主要依据单位禽畜(牛、羊、猪、家禽等)的粪尿排放量,进而估算总粪尿排放量。禽畜粪尿排污量的测算中,常见的有年排污系数法和日排污系数法,本研究使用日排污系数法进行测算。

禽畜粪尿的排污量可以通过公式计算得出:

$$P = \sum_{i=1}^n (a_i \rho_i d_i + a_i \delta_i d_i) \quad (1)$$

式中, P 代表禽畜粪尿排放总量, a_i 表示第 i 种禽畜的年末出栏数; ρ_i 表示第 i 种禽畜的粪便排放系数; δ_i 表示第 i 种禽畜的尿液排放系数; d_i 表示禽畜的饲养天数,此处以 365 d 计,以弥补存栏禽畜的粪尿排放量。根据相关的文献研究资料,汇总得禽畜粪尿污染物日排污系数(表 1)。

20 世纪 50 年代苏联学者提出作物的生物产量(全部作物的地上部干重,根茎类作物包括地下部)和经济产量(有主要经济价值部分的干重)的概念。经济系数是指经济产量与生物产量的比值,可作为衡量经济产量比值的一个指标,但它是一个相对值。经济系数的大小往往因作物种类和品种,以及气候、

土壤肥力、栽培管理水平等的差异而变动。但是,正常生长情况下作物经济系数相对较稳定。因此,计算农作物秸秆可以根据不同作物的经济系数来测算其秸秆的产量,陕西省主要农作物的经济系数见表 2 所示。

表 1 基于文献资料的禽畜粪尿排放排污系数情况^[17-21]

Table 1 Discharging coefficient of livestock manure & urine based on literatures

类型 Type	大牲畜粪 Large livestock's manure	大牲畜尿 Large livestock's urine	猪粪 Pig's manure	猪尿 Pig's urine	羊粪 Sheep's manure	禽粪 Poultry's manure
平均排泄量(kg/d) Average discharging amount	30.00	18.00	3.75	4.66	2.00	0.14

表 2 陕西主要农作物经济系数

Table 2 Harvest coefficient of mainly planted crops in Shaanxi Province

作物名称 Name	小麦 Wheat	水稻 Rice	棉花 Cotton	大豆 Soybean	玉米 Maize
农作物经济系数 Crop's harvest coefficient	0.3~0.4	0.35~0.6	0.30~0.4	0.12~0.24	0.25~0.4
农作物平均经济系数 Average crop's harvest coefficient	0.35	0.47	0.35	0.18	0.35

2.3 研究指标的变动情况分析

2.3.1 陕西人均 GDP 的变动情况 改革开放以来,全省的经济稳步发展。1978 年,全省的 GDP 仅为 81.07 亿元,到 2008 年时全省的 GDP 已达 6 951.32 亿元,年平均增长 10.5%。人均 GDP 也保持了快速稳定的增长,从 1992 年的 1 571 元迅速增加到 2008 年的 18 246 元。从消除了通货膨胀的人均 GDP 来看,人均 GDP 从 1992 年的 275.80 元增加到 2008 年的 1 442.50 元。在国家实施西部大开发战略以后,陕西省的经济得到更快发展,GDP 的增长率一直高于全国平均水平,即使在全国 2008 年经济增长率只有 9% 的情况下,全省的 GDP 增长率仍然实现了西部大开发以来的最高增长率,达到 15.6%。

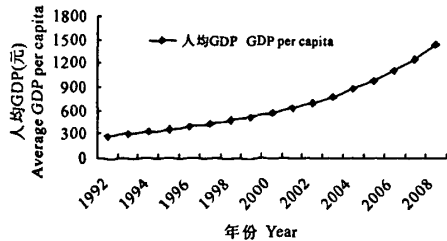


图 1 1992~2008 年陕西省人均 GDP 变动情况

Fig.1 Trend of GDP per capita in Shaanxi Province from 1992 to 2008

2.3.2 肥料投入的变动情况 陕西是我国的传统农业主产区,其中关中平原是我国的小麦和玉米主

产区之一,而陕南是水稻产区。由于我国人口基数大,为保证粮食的自给率在 95% 以上的安全水平,各农业产区的农业生产通过大量的化肥投入以保证粮食作物的高产。作为传统农业主产区,陕西省的化肥投入总量从 1992 年的 84.7 万 t 增加到了 2008 年的 165.9 万 t,增长了近 1 倍。从化肥投入密度看(图 2),化肥投入密度从 1992 年的 242.86 kg/hm² 增加到 2008 年的 582.43 kg/hm²,其中氮肥、磷肥、钾肥和复合肥分别从 1992 年的 160.57 kg/hm²、34.41 kg/hm²、7.45 kg/hm² 和 40.43 kg/hm² 增加到 2008 年的 285.36 kg/hm²、56.31 kg/hm²、45.99 kg/hm² 和 143.77 kg/hm²,均有大幅度的增加。大量的化肥投入确实大幅提高了农作物的产量,但过量的化肥投入,已经严重威胁到陕西农业生态系统的稳定。目前,陕西省的化肥施用量已经远远超过发达国家为控制化肥污染而制定的安全线(225 kg/hm²)。

2.3.3 禽畜粪尿和农作物秸秆排放变动情况 基于禽畜粪尿排放和作物秸秆产量的测算方法,陕西省历年的禽畜粪尿产生量和农作物秸秆产生量的变动情况如图 3 所示。图 3 表明,全省的禽畜粪尿排放量从 1992 年的 6 494.59 万 t 增加到 2006 年的 7 683.47 万 t,而 2007 年和 2008 年出现锐减的趋势;而作物秸秆产生量从 1992 年的 1 618.60 万 t 增加到 2008 年的 1 758.90 万 t,总体增幅不大。禽畜粪尿负荷则是从 1992 年的 18 621.58 kg/hm² 增加到

2006 年的 27 605.63 kg/hm² 后,显著下降到 2008 年为 17 691.64 kg/hm²;农作物秸秆负荷总体呈现上升趋势,从 1992 年的 4 640.92 kg/hm² 增加到 2008 年的 6 175.12 kg/hm²,但部分年份有所波动(图 4)。

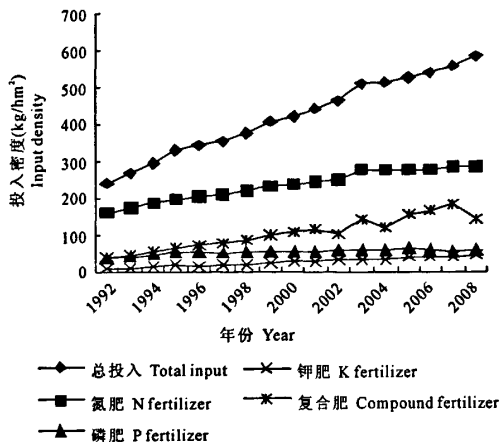


图 2 1992~2008 年陕西省各肥料投入变动情况

Fig.2 Consumption trend of fertilizer in Shaanxi Province from 1992 to 2008

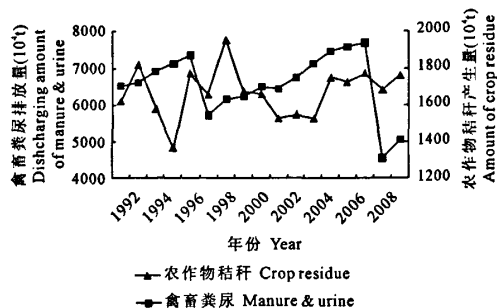


图 3 1992~2008 年陕西省畜禽粪尿和农作物秸秆产生量

Fig.3 Outputs of livestock manure & urine and crop's residues in Shaanxi Province from 1992 to 2008

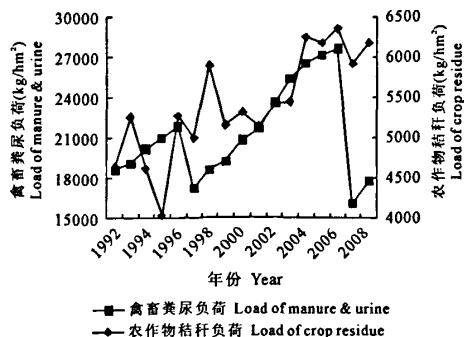


图 4 1992~2008 年陕西省畜禽粪尿和农作物秸秆负荷

Fig.4 Load of livestock's manure & urine and crop's residues in Shaanxi Province from 1992 to 2008

2.3.4 农药和农膜投入的变动情况 陕西省农膜和农药投入量也随着农业生产的发展呈现快速增加的趋势,2008 年农膜投入量为 27 612 t,是 1992 年农膜投入量的 2.1 倍;农药的投入量也从 1992 年的 7 800 t 增加到 2008 年的 10 953 t。从农药和农膜投入密度来看(图 5),二者都是逐年递增的,其中农膜投入密度从 1992 年的 3.76 kg/hm² 增加到 2008 年的 9.69 kg/hm²,农药投入密度从 1992 年的 3.18 kg/hm² 增加到 2008 年的 3.85 kg/hm²。农膜投入的增加,造成废弃农膜在耕地中的积累,降低耕地的耕作质量;农药的广泛施用,导致一些农产品农药残留,品质下降,甚至污染附近水体,危害水生生物生长。

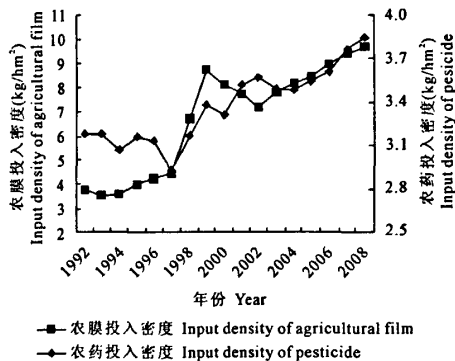


图 5 1992~2008 年陕西省农膜和农药投入密度变动

Fig.5 Trends of agricultural film and pesticide consumption in Shaanxi Province from 1992 to 2008

2.4 建立环境库兹涅茨曲线(EKC)模型

根据环境库兹涅茨曲线的理论,建立农业非点源污染的库兹涅茨曲线模型。

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \beta_3 X^3 + \varepsilon \quad (2)$$

式中: X 为陕西省人均 GDP 指标; Y 为陕西省农业非点源污染指标; β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 为待定的参数; ε 为随机误差干扰项。根据 β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 的不同取值,可以反映污染状况与经济发展的不同变化关系。

(1) 当 $\beta_1 \neq 0$, $\beta_2 = \beta_3 = 0$ 时,污染与经济发展呈线性关系;

(2) 当 $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$, $\beta_3 = 0$ 时,污染与经济发展呈倒“U”形曲线关系;

(3) 当 $\beta_1 < 0$, $\beta_2 > 0$, $\beta_3 = 0$ 时,污染与经济发展呈“U”形曲线关系;

(4) 当 $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$, $\beta_3 > 0$ 时,污染与经济发展呈“N”形曲线关系;

(5) 当 $\beta_1 < 0$, $\beta_2 > 0$, $\beta_3 < 0$ 时,污染与经济发展呈倒“N”形曲线关系;

(6) 当 $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ 时,污染源状况与经济发展无关。

上述 6 中情况中,EKC 曲线仅为其中的一种,即第(2)种倒“U”形情形。

3 模型结果与分析

模型所有的参数运用 EVIEWS5.0 进行估计。三种情况模型的估计结果见表 3。结果显示,倒“U”形曲线更好地拟合了肥料投入密度(包括投入总量、N 肥、P 肥、K 肥和复合肥)与人均 GDP 的关系,可决系数 R^2 值除了磷肥投入的拟合优度稍低一点外($R^2=0.73$),其他的均在 0.90 以上,这说明肥料的投入很好地拟合了 EKC 曲线。拟合后的最优回归方程见表 4,回归方程的一阶导数即是 EKC 曲线的转折点,结果显示,总肥料投入密度、N 肥投入密度、P 肥投入密度、K 肥投入密度和复合肥投入密度拐点所对应的人均 GDP 的值分别为 1 299.48 元、1 181.12 元、979.67 元、1 599.01 元和 1 242.64 元,也就是说,各肥料的投入在达到相对应的人均 GDP 拐点之前,肥料的投入随着经济的增长而增加,人均 GDP 超过相对应的拐点后,肥料的投入量随经济的增长而下降。2008 年陕西的人均 GDP 为 1 442.5 元,已经达到并超过总肥料投入密度、N 肥投入密度、K 肥投入密度和复合肥投入密度分别对应的拐点处的人均 GDP 值,且位于 EKC 曲线的右侧,却未达到 P 肥投入密度的拐点处所对应的人均 GDP 值,位于 EKC 曲线的左侧。因此,可以大致判断,目前全省总肥料投入密度、N 肥投入密度、K 肥投入密度和复合肥投入密度随着经济增长已经呈现下降的趋势,P 肥投入密度还会随着全省经济的发展继续攀升。

陕西省禽畜粪尿负荷,也符合 EKC 的倒“U”形曲线关系,粪尿排放的转折点出现在人均 GDP 为 859.83 元处(表 4),这一结果的意义在于,当全省人均 GDP 超过 859.83 元时,陕西省禽畜粪尿排放将会呈现减少的趋势。2008 年陕西的人均 GDP 为 1 442.5 元,已经达到并超过粪尿排放拐点处相对应的人均 GDP 值。目前,陕西省禽畜粪尿负荷已经进入了转折期,呈现减少的趋势。但从拟合优度 $R^2=0.48$ 看,禽畜粪尿的排放仍然受多种因素的影响,如禽畜养殖业发展的不平衡性、技术措施、财政投入、贸易政策等。

全省的农药投入密度、农膜投入密度和作物秸

秆负荷 3 个变量与经济发展不呈 EKC 曲线关系,而是呈现显著的线性相关关系,并随着人均 GDP 的增长呈现增加的趋势。线性拟合的可决系数分别为 0.72、0.82 和 0.61,说明人均 GDP 对农药投入、农膜投入和秸秆产生量具有一定的解释能力。因此,随着陕西经济的发展,全省农药和农膜的投入会进一步增加,作物秸秆的产出量也会进一步增长。在没有其他环境政策措施的情况下,农药、农膜和作物秸秆带来的农业非点源污染的压力会进一步增大。

4 结论与讨论

通过对陕西省历年化肥投入密度、农膜投入密度、农药投入密度、禽畜粪尿负荷、作物秸秆负荷与人均 GDP 之间关系的实证分析。结果表明,化肥投入、禽畜粪尿与人均 GDP 存在着典型的 EKC 曲线关系,曲线的形状表现为倒“U”形。化肥的投入中,氮肥、钾肥和复合肥的投入密度目前已经出现逐年下降的趋势,经济发展促进了化肥的集约化,但是磷肥的投入密度还未达到顶点,还有逐年上升的趋势。禽畜粪尿的排放量目前已经达到并超过了转折点,正随着经济的发展呈下降的态势。但是,农药投入密度、农膜投入密度和农作物秸秆负荷与人均 GDP 之间不符合 EKC 的规律,而是随着经济的发展,呈现线性增长的特征。

从模型的具体形式上看,可能导致陕西省农业非点源污染的农资投入和废弃物排放随经济发展变化的关系模型表现多样,有呈典型的倒“U”形 EKC 特征的,也有呈线性增长特征的。这些多样性的表现说明,陕西省的农资投入和废弃物排放的影响因素是多方面的,包括收入水平、技术进步、农业产业结构调整、生产方式转变、价格因素以及环保政策等,并且这些因素的影响是综合的。近年来,陕西农业产业结构调整,农业生产正从粗放型的传统生产方式转变为集约型的现代农业生产方式,农业生产的专业化伴随着土地集约化和规模化经营,加上农业专业合作社的发展,这些都对化肥的高效利用创造了有利条件。然而,现代农业的发展,刺激了农业对农膜和农药的需求,以减少作物生长周期和减少病虫害的发生,使农业生产能获得较好的经济效益。农业生产条件的改善和粮食作物播种面积的稳步增加,粮食的产量得到提升,并促使农作物秸秆产量的快速增加。

表 3 环境库兹涅茨曲线模型的参数估计结果
Table 3 Results of parameters estimation for Environmental Kuznets Curve

变量 Variable	模型类型 Type of model	常数项 Constant	AGDP	AGDP ²	AGDP ³	R ²	F	D.W.
肥料总投入密度 Input density of total fertilizer	线性函数 Linear function	230.2150*** (11.56)	0.2854*** (10.79)			0.8859	116.42	0.2704
	二次函数 Quadratic function	78.8818*** (4.51)	0.7563*** (15.10)	-0.000291*** (-9.59)		0.9849	457.34	1.1551
	三次函数 Cubic function	-29.4898 (-1.03)	1.2699*** (9.90)	-0.000986*** (-5.85)	2.77E-07*** (4.15)	0.9935	664.35	1.6453
氮肥投入密度 Input density of nitrogen	线性函数 Linear function	163.4074*** (16.58)	0.1061*** (8.10)			0.8139	65.62	0.3415
	二次函数 Quadratic function	88.9351*** (9.91)	0.3378*** (13.12)	-0.000143*** (-9.18)		0.9735	257.21	1.3444
	三次函数 Cubic function	44.3224** (2.48)	0.5492*** (6.86)	-0.000429*** (-4.08)	1.14E-07** (2.74)	0.9832	253.52	1.7102
磷肥投入密度 Input density of phosphorus	线性函数 Linear function	43.9480*** (14.10)	0.0125*** (3.02)			0.3787	9.14	0.4326
	二次函数 Quadratic function	24.7501*** (5.01)	0.0723*** (5.10)	-3.69E-05*** (-4.30)		0.7325	19.16	0.9977
	三次函数 Cubic function	0.6436 (-0.06)	0.1865*** (4.19)	-0.000191*** (-3.27)	6.16E-08** (2.66)	0.8268	20.69	1.0196
钾肥投入密度 Input density of potassium	线性函数 Linear function	3.7970** (2.38)	0.0319*** (15.06)			0.9379	226.89	0.7728
	二次函数 Quadratic function	-6.7073** (-2.95)	0.0646*** (9.91)	-2.02E-05*** (-5.12)		0.9784	317.19	2.0548
	三次函数 Cubic function	-12.4084** (-2.29)	0.0916*** (3.78)	-5.67E-05** (-1.78)	1.46E-08* (1.16)	0.9804	217.01	2.0459
复合肥投入密度 Input density of compound fertilizer	线性函数 Linear function	28.6913** (2.91)	0.1122*** (8.56)			0.8302	73.33	1.2798
	二次函数 Quadratic function	-38.2555* (-2.89)	0.3206*** (8.46)	-0.000129*** (-5.61)		0.9477	126.77	2.7314
	三次函数 Cubic function	-9.2582 (-0.29)	0.1831 (1.28)	-5.71E-05 (0.30)	-7.41E-08 (-0.99)	0.9514	84.83	2.6629
农膜投入密度 Input density of agricultural film	线性函数 Linear function	3.0639*** (4.57)	0.005487*** (6.16)			0.7167	37.94	0.44
	二次函数 Quadratic function	-0.6118 (-0.51)	0.0169*** (4.92)	-7.07E-06*** (-3.39)		0.8446	38.04	0.7670
	三次函数 Cubic function	-5.5122* (-2.12)	0.0401*** (3.45)	-3.85E-05** (-2.51)	1.25E-08* (2.07)	0.8831	32.72	0.9938
农药投入密度 Input density of pesticide	线性函数 Linear function	2.9276*** (48.84)	0.000666*** (8.36)			0.8234	69.96	1.20
	二次函数 Quadratic function	2.8081*** (20.01)	0.0010** (2.58)	-2.30E-07 (-0.94)		0.8340	35.16	1.2814
	三次函数 Cubic function	2.7666*** (7.88)	0.0012 (0.79)	-4.96E-07 (-0.24)	1.06E-10 (0.13)	0.8341	21.80	1.28
禽畜粪尿负荷 Load manure & urine of livestock and poultry	线性函数 Linear function	19880.10*** (10.18)	2.1334 (0.82)			0.0431	0.68	0.9040
	二次函数 Quadratic function	9126.049** (2.62)	35.5971*** (3.57)	-0.0207*** (-3.42)		0.4789	6.43	1.46
	三次函数 Cubic function	22337.44** (2.89)	-27.0089 (-0.78)	0.0640 (1.41)	-3.37E-05* (-2.18)	0.5902	6.24	2.2671
作物秸秆负荷 Load of crop's residue	线性函数 Linear function	4437.543*** (19.84)	1.4549*** (4.89)			0.6149	23.95	1.9598
	二次函数 Quadratic function	3728.055*** (7.49)	3.6627** (2.57)	-0.0014 (-1.58)		0.6731	14.41	2.2433
	三次函数 Cubic function	4247.137*** (3.44)	1.2029 (0.22)	0.0020 (0.27)	-1.33E-06 (-0.46)	0.6784	9.14	2.3092

注:“*”、“**”和“***”表示在 10%、5% 和 1% 水平上显著。

Note: The symbols “*”, “**” and “***” indicate the significance at the level of 10%, 5% and 1%, respectively.

表 4 模型的形式及转折点
Table 4 The form of estimated model and its kickpoint

变量 Variable	模型估计形式 Form of estimated model	曲线形状 Curve's shape	转折点 (元) Kickpoint
总化肥投入密度 Input density of total fertilizer	$Y = 78.8818 + 0.7563X - 0.000291X^2$	倒“U”形 Inverted “U”	1299.48
氮肥投入密度 Input density of nitrogen fertilizer	$Y = 88.9351 + 0.3378X - 0.000143X^2$	倒“U”形 Inverted “U”	1181.12
磷肥投入密度 Input density of phosphorus fertilizer	$Y = 43.9480 + 0.0723X - 3.69 \times 10^{-5}X^2$	倒“U”形 Inverted “U”	979.67
钾肥投入密度 Input density of potassium fertilizer	$Y = -6.7073 + 0.0646X - 2.02 \times 10^{-5}X^2$	倒“U”形 Inverted “U”	1599.01
复合肥投入密度 Input density of compound fertilizer	$Y = -38.2555 + 0.3206X - 0.000129X^2$	倒“U”形 Inverted “U”	1242.64
农膜投入密度 Input density of agricultural film	$Y = 3.0639 + 0.005487X$	线性增长 Linear	无 No
农药投入密度 Input density of pesticide	$Y = 2.9276 + 0.000666X$	线性增长 Linear	无 No
畜禽粪尿负荷 Manure & urine's load in per capita arable land	$Y = 9216.049 + 35.5971X - 0.0207X^2$	倒“U”形 Inverted “U”	859.83
农作物秸秆负荷 Crop residue's load in per capita arable land	$Y = 4437.543 + 1.4549X$	线性增长 Linear	无 No

对于政府部门来说,应高度重视农药和农膜的投入以及农作物秸秆产生量将会随着全省经济的发展而继续增加的趋势。推广高效低毒农药,提倡生物农药在农业生产中的应用,加强农膜的回收再利用或集中处理,对作物废弃秸秆要加强管理,避免焚烧污染环境,加强秸秆的资源化利用。对于化肥的施用和畜禽粪便排放,切不可对其会带来的污染掉以轻心,以为化肥的消费量和畜禽粪尿产生量的减少就必然会减轻对环境的压力。因为,影响农业非点源污染排放的因素是多方面的,如果化肥使用或耕作措施不当,畜禽粪尿污染控制措施和管理政策不到位,仍然会增加农业非点源污染的压力。而且,倒“U”型的 EKC 曲线决不能被用作农业非点源污染过程“先污染,后治理”的借口。虽然经济的发展会减缓化肥的使用和畜禽粪尿的排放,但是仍然没有理由认为这一过程会自动发生。因此,政府在制定农业产业政策和农业环保政策过程中,应主动采取措施控制农业非点源污染的发生。

参 考 文 献:

[1] 金国华.农业非点源污染环境影响评价及防治对策研究[D]. 长春:东北师范大学,2005.
[2] 王莉玮.重庆市农业面源污染的区域分异与控制[D].重庆:西南大学,2005.
[3] 党晓虹.试析陕西农业生产民俗的区域差异[J].安徽农业科学,2006,34(23):6317—6318.
[4] Simon K. Economic growth and income inequality[J]. The American

Economic Review, 1955,45(1):1—28.
[5] 陈石清,蔡路珈.环境库兹涅茨曲线假说及其在中国的检验[J].生态经济,2007,(9):68—71.
[6] Shafik N, Bandyopadhyay S. Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-Country Evidence[R]. Washington D C: Background Paper for the World Development Report the World Bank, 1992.
[7] 胡 聘,许开鹏,杨建新,等.经济发展对环境质量的影响——环境库兹涅茨曲线国内外研究进展[J].生态学报,2004,24(6):1259—1266.
[8] Kahn M E. A household level environmental Kuznets curve[J]. Economics Letters, 1998,59(2):269—273.
[9] Selden T M, Song D. Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 1994,27(2):147—162.
[10] 宋 涛,郑挺国,佟连军.基于面板协整的环境库兹涅茨曲线的检验与分析[J].中国环境科学,2007,27(4):572—576.
[11] 张锦文.宁夏环境质量与经济增长的库兹涅茨关系验证及成因分析[J].干旱区资源与环境,2007,21(10):39—42.
[12] 袁加军,曾五一.基于生活污染物的环境库兹涅茨曲线[J].山西财经大学学报,2009,31(10):30—34.
[13] 刘 扬,陈劲峰,张云芳.中国农业 EKC 研究:以化肥为例[J].中国农学通报,2009,25(16):263—267.
[14] Chimeli A B. Growth and the environment: Are we looking at the right data? [J]. Economics Letters, 2007,96(1):89—96.
[15] 杜 江,刘 渝.中国农业增长与化学品投入的库兹涅茨假说及验证[J].世界经济文汇,2009,(3):96—108.
[16] 张 晖,胡 浩.农业面源污染的环境库兹涅茨曲线验证——基于江苏省时序数据的分析[J].中国农村经济,2009,(4):48—53,71.
[17] 陈洪波.三峡库区水环境农业非点源污染综合评价与控制对

- 策研究[D].北京:中国环境科学研究院,2006.
- [18] 黄 丰.三峡库区农业非点源污染规律调查研究[D].武汉:华中农业大学,2007.
- [19] 叶 飞.江苏省水环境农业非点源污染综合评价与控制对策研究[D].南京:南京农业大学,2005.
- [20] 张宏艳.发达地区农村面源污染的经济学研究[D].上海:复旦大学,2004.
- [21] 武淑霞.我国农村畜禽养殖业氮磷排放变化特征及其对农业面源污染的影响[D].北京:中国农业科学院,2005.

Empirical study on Environmental Kuznets Curve of non-point source pollution

— A case study of agricultural input and agricultural waste's output in Shaanxi Province

CHEN Yong^{1,2}, FENG Yong-zhong^{1,2}, YANG Gai-he^{1,2}

(1. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. The Research Center for Recycling Agricultural Engineering Technology of Shannxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 9 time series data indicators of agricultural non-point source pollution in Shaanxi Province were chosen, which included total input density of fertilizer, input density of N fertilizer, input density of P fertilizer, input density of K fertilizer, input density of compound fertilizer, input density of agricultural film, input density of pesticide, load of livestock and poultry's manure & urine, and load of crop residues. Meanwhile, Environmental Kuznets Curve model (EKC) was built to examine the relationship between the 9 indicators and the growth of economy in Shaanxi. The outputs of livestock and poultry's manure & urine were computed by the method of discharging coefficient, and the outputs of crop residues were computed by harvest coefficient. Results: The per hectare loads of total fertilizer, N fertilizer, P fertilizer, K fertilizer, compounded fertilizer and the manure & urine exhibited inverted-U relations with per capita GDP. While per hectare loads of agricultural film, pesticide and crop residues exhibited linear relations with per capita GDP. Conclusion: With the growth of economy, the input of fertilizer and output of manure & urine will reduce, but the consumption of agricultural film and pesticide and the outputs of crop residues will increase. The government should take effective measures to prevent the occurrence of agricultural non-point source pollution ahead of time.

Keywords: Environmental Kuznets Curve; empirical study; agricultural input; agricultural waste

(上接第 190 页)

Effects of water stress on osmosis-adjusting substances in leaves of line pepper

DU Lei, ZHAO Zun-lian*, GONG Zhen-hui, GUO Jian-wei, NIU Zhe-hui, GUO Yong-qing

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The line pepper No.2, L14 and No.6 were used as materials. Under the potted planting, an experiment was carried out with 5 water treatments, i.e. the relative soil water content of treatments was 45%, 55%, 65%, 75% and 85% (CK) of field capacity respectively. The free proline, soluble sugar and cell membrane permeability were determined 20 days after fix planting, and the effect of water stress on osmosis-adjusting substances was analyzed in line pepper. The results showed that the cell membrane permeability, proline content and soluble sugar content of leaves were gradually increased as the severity of water stress increasing. In the soil relative water content of 45%, the cell membrane permeability of No.2, No.6 and L14 was 1.38, 1.47 and 1.35 times of control (soil relative water content 85%), respectively. The proline content was 2.00, 1.47 and 2.00 times of control, and the soluble sugar content was 1.67, 1.35, and 3.70 times of control. These indicate that the line pepper can regulate the osmosis-adjusting substances to adapt to water stress. Under water stress, the destruction of membrane structure and function in L14 is not serious and this indicates the drought resistance of L14. The drought tolerance of No.6 is weak, while that of No.2 is middling.

Keywords: line pepper; water stress; osmosis-adjusting substance