

引用格式:吴金凤,王秀红.不同农业经济发展水平下的碳排放对比分析——以盐池县和平度市为例[J].资源科学,2017,39(10):1909-1917. [Wu J F, Wang X H. Comparative analysis of agricultural carbon emissions at different agricultural economic development levels in Yanchi County and Pingdu City[J]. *Resources Science*, 2017, 39 (10): 1909-1917.] DOI: 10.18402/resci.2017.10.10

# 不同农业经济发展水平下的碳排放对比分析 ——以盐池县和平度市为例

吴金凤<sup>1,2</sup>,王秀红<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学资源与环境学院,北京 100193;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟院重点实验室,北京 100101)

**摘要:**本文以宁夏盐池县和山东平度市为例,采用文献综述法和系数法分别核算了东西部地区县域尺度上的农业碳排放,对比分析1995-2015年农业碳排放特征及其变化规律,同时探讨不同农业经济发展水平下农业碳排放的差异和碳减排策略,以期为区域农业低碳经济的发展提供科学依据。结果表明:①盐池的农业碳排放量远小于平度,但相对于平度的农业碳排放及其强度的年均变化率呈低速降低的趋势,盐池的呈快速增加的趋势;②盐池的农业碳排放的主要来源是畜牧业养殖;平度的主要来源包括农用化学物质投入间接碳排放和畜牧业养殖碳排放;③对比盐池和平度的农业碳排放环境库兹涅茨曲线(EKC)可知,盐池正处于农业经济增长的初期,需同时兼顾经济发展和农业碳减排的双重重任;而平度处于农业经济增长的后期,具备有在保持经济增长的同时兼顾农业碳减排的条件。盐池应该努力发展“种(种植)养(养殖)加(加工)一体化”循环经济,以此来减少粪便直接排放对土壤、大气和水的污染以及无机化肥的施用产生的农业碳排放;而平度应大力推广使用低碳环保的农资产品,以此来减少农资本身和使用过程中的碳排放。

**关键词:**碳排放;种植业;畜牧业;盐池县;平度市

DOI: 10.18402/resci.2017.10.10

## 1 引言

在全球气候变暖的大背景下,碳汇/源、碳排放、碳减排、碳交易等一系列的关于碳的概念相继出现,有关人类活动碳排放量的测算方法也不断涌现,不过对于如何实现经济发展和碳减排的双赢目标是世界各国一致关注的问题。IPCC将全球人为温室气体(GHG)排放分为能源供应、工业、农业和林业等7个来源,并分别核算其碳排放量,其中2010年农业的 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_4$ 排放量约为5.8Gt( $\text{CO}_2$ 当量), $\text{CO}_2$ 排放量约为0.6Gt( $\text{CO}_2$ 当量),约占全球人为GHG排放的11%~12%,且在1990-2010年间,农业的 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_4$ 排放量每年以0.9%的速率增长<sup>[1]</sup>。中国

是一个农业大国,农业碳排放量大且来源众多,但由于资源禀赋和社会经济的差异,使得各地区的农业碳排放特征及其变化规律处于不同的状态,因此对比分析不同农业经济发展水平下的农业碳排放源和碳排放量,并探讨其变化规律,以及农业经济增长与农业碳排放的关系,具有一定的现实意义。

环境库兹涅茨曲线(Environmental Kuznets Curve, EKC),是起源于美国经济学家Simon Kuznets所提出的收入分配倒“U”字型曲线,1993年Panayotou首次将经济增长与环境状况之间的关系称为EKC,说明经济发展对环境污染水平有很强的影响<sup>[2]</sup>;也就是说,在经济发展过程中,环境状况是

收稿日期:2017-02-10;修订日期:2017-07-13

基金项目:国家自然科学基金项目(41371531)。

作者简介:吴金凤,女,四川绵阳人,博士生,主要研究方向为土地利用及其生态环境效应。E-mail:947022533@qq.com

通讯作者:王秀红,E-mail:wangxh@igsnrr.ac.cn

先是恶化而后得到逐步改善。1992年 Shafik 等的试验研究成果首次证实了悬浮颗粒物(SPM)和二氧化硫(SO<sub>2</sub>)的排放状况随人均收入的增长先恶化而后改善这一关系,拟合散点图发现二者呈现倒“U”字型<sup>[3]</sup>。随后 Schmalensee 等又发现人均 CO<sub>2</sub> 排放量与人均收入呈明显倒“U”字型关系,即符合 EKC 假说<sup>[4,5]</sup>。此后,范金等利用中国 81 个大、中城市 1995-1998 年度的 SO<sub>2</sub>、氮氧化物、总悬浮颗粒浓度等面板数据对 EKC 假说进行了数学证明,并建立了中国城市环境 Kuznets 曲线<sup>[6]</sup>。余东华等围绕碳排放 EKC“异质性难题”的化解,再次检验了碳排放 EKC 的存在性<sup>[7]</sup>。本研究拟借用常规的统计变量和 EKC 假说来对比分析在中国不同农业经济发展水平下的两个案例区的农业碳排放特征、变化规律及其与区域农业经济增长的关系,以便为不同区域的农业碳减排策略提供依据。

## 2 研究区概况、数据来源与研究方法

### 2.1 研究区概况

本研究在北方的西部地区和东部地区各选了一个案例区。西部地区选择了位于宁夏东部的盐池县作为案例区,东、南、北分别与陕西、甘肃和内蒙古三省区接壤,地理坐标为 106°30'E-107°41'E, 37°04'N-38°10'N,土地面积 83.7 万 hm<sup>2</sup>;地处农牧交错带,地形自东南向北由黄土丘陵向鄂尔多斯缓坡丘陵过渡,气候从半干旱向干旱过渡,年降雨量 280 mm 左右,植被类型是从干草原向荒漠草原过渡<sup>[8]</sup>。作为传统的农牧业大县<sup>[9,10]</sup>,盐池县种植业和畜牧业的可比价总产值已从 1995 年的 1.41 亿元增加到 2015 年的 5.29 亿元<sup>[12-14,17]</sup>,其中种植业产值的比重从 1995 年的 54.81% 增加到 2015 年的 62.20%,与此同时,畜牧业的从 45.19% 下降到 37.80%。

东部地区选择基本上与盐池县同纬度分布的山东平度市(县级)作为案例区。平度市位于中国沿海地区,是山东最大的县级行政区,地理坐标为 119°31'30"E-120°19'13"E, 36°28'15"N-37°02'46"N,土地总面积约 31.7 万 hm<sup>2</sup>,地处中国东部半湿润区和湿润区的过渡带<sup>[11]</sup>,年降雨量 800mm 左右。县域内多平原,土地利用类型中的耕地面积最大,是山东省农业大县<sup>[10]</sup>。拥有相对优越的区位条件和自然

资源条件,平度的种植业和畜牧业的可比价总产值远高于盐池,且仍处于快速增长的状态,已从 1995 年的 47.89 亿元增加到 2015 年的 120.42 亿元<sup>[15-17]</sup>,其中种植业和畜牧业的比重基本保持稳定,分别为 65.00%, 35.00%。

### 2.2 农业碳排放源的界定与计算方法

#### 2.2.1 农业碳排放源的界定与数据来源

本研究核算的农业碳排放,主要是种植业和畜牧业生产农产品过程中所产生的碳排放量,包括农用化学物质投入间接碳排放、耗能碳排放、氮肥施用直接 N<sub>2</sub>O 释放、秸秆燃烧碳排放和牲畜养殖 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放。

基础数据包括农地化肥、农药、农膜和能源的投入使用量和农产品产出,数据源自 1996-2016 年的《宁夏统计年鉴》<sup>[12]</sup>、“盐池县 2000-2010 年国民经济统计资料汇编”<sup>[13]</sup>、“盐池县 2011-2016 年经济要情手册”<sup>[14]</sup>、《青岛统计年鉴》(2001-2016 年)<sup>[15]</sup>和《山东统计年鉴》(1996-2016 年)<sup>[16]</sup>。其中氮肥、磷肥、钾肥、复合肥施用量均以折纯量为准,农田灌溉面积、农作物播种面积、农作物产量均以当年实际情况为准,奶牛、非奶牛、马等牲畜数量参照各年年末存栏量。同时,利用《中国农村统计年鉴》(1996-2016 年)<sup>[17]</sup>中宁夏和山东的可比价格指数,分别测算盐池和平度的种植业与畜牧业 1995-2015 年的可比价产值,在此也特别说明,文中所说的产值均是指可比价产值。

#### 2.2.2 计算方法

为了准确地计算两个对比案例区的农业碳排放量,本文在收集、整理和阅读相关文献与资料的基础上,采用文献综述的方法对国内外已有的研究成果进行了归纳总结,并建立了不同区域内的农业生产碳排放因子的碳排放系数查询表<sup>[18,19]</sup>。最后利用系数法测算各碳排放因子的碳排放量,并合计各碳排放因子的碳排放量作为农业碳排放(E):

$$E = \sum_{i=1}^n e_i \times \beta_i \quad (1)$$

式中  $e_i$ 、 $\beta_i$  分别为第  $i$  种碳排放因子量和碳排放系数。

(1) 农用化学物质投入间接碳排放和耗能碳排

1) 平度农药农膜数据由山东省平度市土壤肥料工作站的姜晓燕提供。

2017年10月

放与生产原料及工艺相关,因此本研究的两个案例区采用相同碳排放系数。中国平均水平制造氮磷钾肥的综合碳排放系数<sup>[20]</sup>分别为2.116kgC/kg N、0.636kgC/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、0.108kgC/kg K<sub>2</sub>O,关于农田施用复合肥碳排放量的计算是按照中国目前主流的复合肥-等养分配比(15-15-15)<sup>[21]</sup>分别折算成氮肥、磷肥和钾肥,以此测算复合肥的间接和直接碳排放当量;农药的碳排放系数取平均值6.00kgC/kg<sup>[22]</sup>;农膜碳排放系数的平均值为2.58kgC/kg<sup>[23]</sup>;单位面积灌溉和耕作耗能的碳排放系数取25.00kgC/hm<sup>2</sup>,31.06kgC/hm<sup>2</sup><sup>[24,25]</sup>。

(2)土壤N<sub>2</sub>O排放是受种植作物、耕地本底、肥料以及地下水和地表水的影响,作物种植引起的碳排放和耕地本底碳排放还需大量实测探究,故参考《2006年IPCC国家温室气体清单指南》<sup>[26]</sup>和《省级温室气体清单编制指南》<sup>[27]</sup>,先完成了对氮肥施用产生的直接N<sub>2</sub>O排放的测算,其中盐池与平度农地的N<sub>2</sub>O-N直接排放因子分别取0.0056kg N<sub>2</sub>O-N/kg N、0.0057kg N<sub>2</sub>O-N/kg N。

(3)秸秆燃烧碳排放量的核算涉及地区主要种

植作物的秸秆产量、收集系数、燃烧率和含碳量,而相关研究表明作物秸秆产量与经济产量存在一定的关系,即秸秆系数<sup>[28]</sup>,因此,下文将依据作物的经济产量、秸秆燃烧率和含碳量得到案例区秸秆燃烧碳排放系数。已有研究结果表明:盐池与平度的秸秆燃烧率分别为30.0%<sup>[29]</sup>、19.6%<sup>[30]</sup>;主要农作物秸秆含碳量取其平均值0.24<sup>[31]</sup>,由此便可以得到研究区主要农作物单位经济产量秸秆燃烧碳排放量(详见表1)。

(4)牲畜养殖CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放,依据IPCC界定的畜牧业养殖温室气体排放源和排放因子及《省级温室气体清单编制指南》<sup>[27]</sup>给出的中国不同动物在不同饲养方式下肠道发酵CH<sub>4</sub>排放系数和粪便管理CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放系数,得到盐池与平度的畜牧业养殖CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放系数,详见表2。由此,可分别计算得到盐池与平度在畜牧业养殖过程中的动物肠道CH<sub>4</sub>排放和粪便管理CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放。在合计农业碳排放总量时,研究依据IPCC第四次评估报告(2007)<sup>[32]</sup>中的等式1t CH<sub>4</sub>=6.82t C,1t N<sub>2</sub>O=81.27t C,可将CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O分别折算成碳排放量。

表1 盐池与平度主要农作物的秸秆系数、收集系数和燃烧碳排放系数

Table 1 Straw and straw-collection coefficient of main crops and carbon emissions from straw burning in Yanchi County and Pingdu City

地区	项目	小麦	谷子	玉米	高粱	薯类	地瓜	大豆	其它粮食作物	棉花	花生	烟叶	油料
盐池	秸秆系数	1.08	-	1.21	-	0.62	-	1.36	1.00	-	-	-	3.76
	秸秆收集系数	0.89	-	0.91	-	0.95	-	0.95	0.91	-	-	-	0.86
	秸秆燃烧碳排放	0.069	-	0.079	-	0.042	-	0.093	0.066	-	-	-	0.233
平度	秸秆系数	1.39	2.13	0.96	2.32	-	0.42	1.36	1.6	2.61	0.89	0.71	-
	秸秆收集系数	0.89	0.89	0.91	0.91	-	0.95	0.95	0.9	0.91	0.95	0.95	-
	秸秆燃烧碳排放	0.058	0.089	0.041	0.099	-	0.019	0.061	0.068	0.112	0.040	0.032	-

注:“-”表示此类作物不作为该地区主要农作物或该地区不种植该类作物。

表2 盐池与平度畜牧业养殖CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放系数汇总

Table 2 CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emission coefficients from livestock farming in Yanchi County and Pingdu City (kg/(头·年))

地区	项目	奶牛	非奶牛	马	驴	骡	猪	山羊	绵羊	家禽	兔
盐池	动物肠道发酵CH <sub>4</sub> 排放	89.70	67.90	18.00	10.00	10.00	1.00	9.40	8.70	-	0.25
	粪便管理CH <sub>4</sub> 排放	5.93	1.86	1.09	0.60	0.60	1.38	0.32	0.28	0.01	0.08
	粪便管理N <sub>2</sub> O排放	1.447	0.545	0.330	0.188	0.188	0.195	0.074	0.074	0.007	0.020
平度	动物肠道发酵CH <sub>4</sub> 排放	89.70	67.90	18.00	10.00	10.00	1.00	9.40	8.70	-	-
	粪便管理CH <sub>4</sub> 排放	8.33	3.31	1.64	0.90	0.90	5.08	0.28	0.26	0.02	-
	粪便管理N <sub>2</sub> O排放	2.065	0.846	0.330	0.188	0.188	0.175	0.113	0.113	0.007	-

注:“-”表示此类动物不作为该地区主要畜牧业养殖物种或不养殖该类物种。



### 2.3 农业碳排放环境库兹涅茨曲线(EKC)假说

最后合计种植业和畜牧业农产品生产过程中所产生的碳排放量作为农业碳排放。首先对比案例区农业碳排放及其强度变化趋势,然后借用EKC假说,分别生成盐池和平度的农业碳排放EKC,以此来对比分析1995-2015年盐池和平度的农业经济发展水平(种植业和畜牧业的产值)与碳排放之间的关系。完整的EKC呈倒“U”字型,分为两个阶段,第一阶段上升阶段即经济增长初期,环境污染因子的浓度会随经济的增长而变大;当经济水平达到一定的程度,继而转向第二阶段下降阶段,即经济增长后期污染因子浓度会随着经济的继续增长而下降<sup>[2]</sup>。但是受经济发展水平以及时间尺度的影响,研究时段的农业碳排放的EKC不一定是一个完整的倒“U”字型。本研究也仅借用EKC假说,分析1995-2015年东西部地区的农业经济发展水平与农业碳排放之间的关系,其农业碳排放EKC可能只是倒“U”字型的一部分或者经济发展的某一个阶段。

## 3 结果及分析

### 3.1 盐池与平度农业碳排放的变化趋势对比

计算结果表明,盐池与平度的农业碳排放量相差很大,1995-2015年,盐池的年均碳排放仅为6.13万t,而平度的已达到45.79万t。本文首先依据农业碳排放的来源,将农业各碳排放因子的碳排放合计成了农用化学物质投入间接碳排放、耗能碳排放、氮肥碳排放当量、秸秆燃烧碳排放和畜牧业碳排放,生成了1995-2015年盐池与平度农业碳排放量对比图(见图1)。从图1可以直观地看出盐池在农

业生产养殖过程中所产生的碳排放处于增长趋势;而平度处于下降趋势。其中,盐池的农业碳排放以年均4.38%速率增加,可分为两个阶段:1995-2005年缓慢增长时期;2006-2015年快速增长时期。而平度的碳排放以年均1.95%速率减少,也可以分为两个阶段:1995-2005年快速减少时期;2006-2015年缓慢减少时期。

对比分析1995-2015年盐池与平度的农业碳排放的年均占比表明:盐池有大于75.00%的农业碳排放是源于畜牧业养殖碳排放,其次是农用化学物质投入间接碳排放,但占比也仅为10.08%,氮肥碳排放当量占比最小,为2.60%;然而平度有约75.00%的来自于农用化学物质投入间接碳排放和畜牧业碳排放,且二者占比基本持平,分别为38.73%,36.20%,其次是秸秆燃烧碳排放为14.68%,其中耗能碳排放最小,为2.51%。

### 3.2 盐池与平度农业各因子碳排放量的统计对比分析

为了探讨对比案例区各因子的碳排放量特征及变异程度,研究选择了平均值、变异系数和年均增长率等统计变量来进行描述性分析。分析结果见表3。

(1)盐池农业各碳排放源的GHG排放量均小于平度,其中两地相差最大的是氮肥碳排放,盐池较平度低10.00万t;其次是秸秆燃烧碳排放,低6.20万t;最小的是粪便管理N<sub>2</sub>O排放,低0.035万t。与农业碳排放总量一致,两地各因子的碳排放量,有明显的差异。

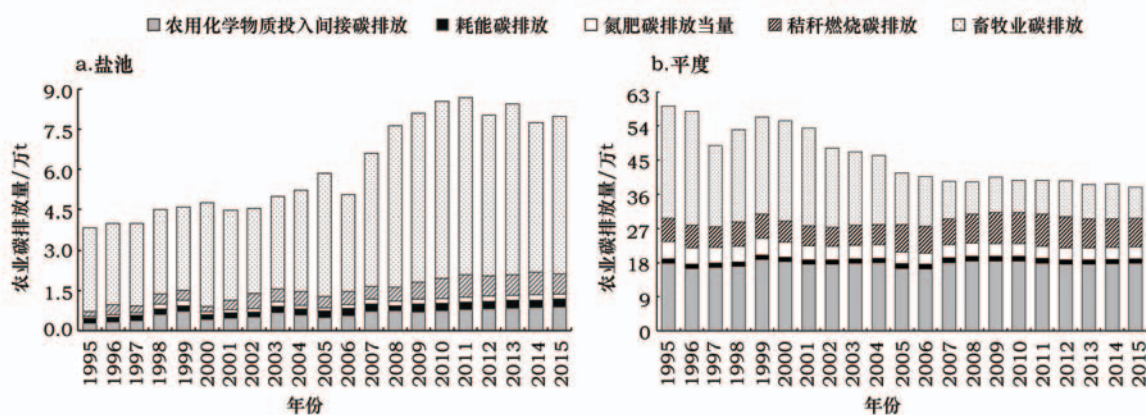


图1 1995-2015年盐池与平度农业碳排放量对比

Figure 1 Comparison of agricultural carbon emissions between Yanchi County and Pingdu City over from 1995 to 2015

2017年10月

表3 盐池与平度各因子GHG排放量的平均值、变异数和年均增长

Table 3 The mean, variance coefficient and annual average changing rate of each factor's carbon emissions in Yanchi County and Pingdu City

地区	统计变量	氮肥 碳排放	磷肥 碳排放	钾肥 碳排放	农药 碳排放	农膜 碳排放	灌溉 耗能 碳排放	耕作 耗能 碳排放	秸秆 燃烧 碳排放	N肥N <sub>2</sub> O 释放	动物肠 道发酵 CH <sub>4</sub> 排放	粪便 管理 CH <sub>4</sub> 排放	粪便 管理 N <sub>2</sub> O排放
盐池	平均值/万t	0.467	0.048	0.014	0.010	0.074	0.026	0.218	0.517	0.002	0.570	0.026	0.006
	变异系数/%	26.53	40.49	67.04	15.51	64.66	37.28	15.72	39.06	26.59	31.66	23.48	27.82
	年均增长率/%	7.79	9.16	14.07	1.99	32.71	6.20	14.57	12.33	8.05	4.19	3.26	4.09
平度	平均值/万t	10.47	1.94	0.63	1.57	3.10	0.31	0.83	6.72	0.04	1.58	0.37	0.04
	变异系数/%	12.88	15.29	17.44	21.09	41.87	3.07	6.27	16.27	12.88	64.05	10.59	29.17
	年均增长率/%	-1.60	1.10	1.81	-1.54	11.47	0.24	0.43	1.51	-1.60	-7.90	-0.19	-3.03

(2)盐池的农业碳排放量的变异系数较平度的高。根据变异系数划分变异程度:>100%为强变异,100%~30%为中等变异,30%~10%为低等变异,<10%为弱变异。盐池的磷肥碳排放、钾肥碳排放、农膜碳排放、灌溉耗能碳排放、秸秆燃烧碳排放和动物肠道发酵CH<sub>4</sub>排放均是中等变异,同时其它因子碳排放的变异系数也均是大于15%的低等变异。而平度仅有农膜碳排放和动物肠道发酵CH<sub>4</sub>排放为中等变异,其它均为变异系数较小的低等变异或弱变异。说明盐池的总体农资投入水平以及畜牧业养殖结构的变化幅度均较平度的高。

(3)年均增长率表明:盐池的各因子碳排放均处于高速增长的状态,其中最大的是农膜,年均增长率为32.71%;而平度的除了农膜碳排放以年均11.47%的增长率增加以外,其它各因子碳排放均是负增长或者以几乎为零的速率增加。说明虽然两区各因子碳排放量和变化特征存在明显的差异,但是农业生产过程中对农膜的需求均处于高需求状态。

### 3.3 平度与盐池的农业碳排放强度对比分析

碳排放强度是指研究区单位耕地面积上的碳排放量。从1995-2015年盐池、平度的碳排放强度的变化趋势与上述各自农业碳排放总量的一致,盐池的碳排放强度呈增加的趋势,平度的呈减少的趋势(图2)。但是,与年均碳排放变化率相比,两地碳排放强度变化率的绝对值相差较小,即1995-2015年盐池的碳排放强度以年均2.95%速率增加,而平度的以年均2.28%速率降低,虽然盐池的增长速率略快于平度降低速度;但是到2015年平度的碳排放

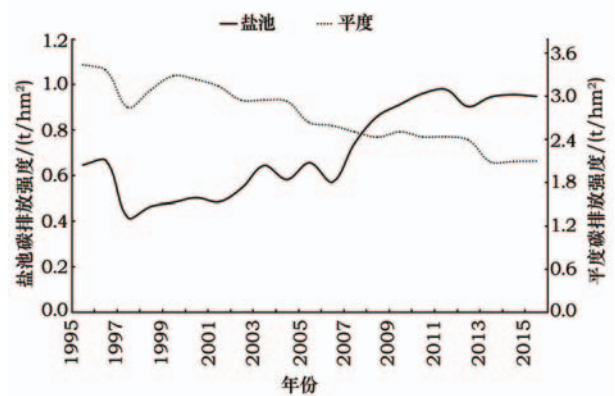


图2 1995—2015年平度市与盐池县农业碳排放强度对比

Figure 2 Comparison of intensity of agricultural carbon emissions between Yanchi County and Pingdu City from 1995 to 2015

强度仍然远大于盐池,其值分别为2.09t/hm<sup>2</sup>、0.95t/hm<sup>2</sup>。由此可知,盐池应该减缓单位耕地面积上农业碳排放增加的速率,否则将会使其步入平度后尘,不利于低碳农业的发展;而平度在单位耕地面积上碳排放,仍有可能继续降低,以此来减少农产品生产过程中产生碳排放。

### 3.4 盐池与平度的农业碳排放环境库兹涅茨曲线

尽管两个案例区由于农业经济发展水平的差异,造成的农业碳排放的量级不同,但两个案例区的农业碳排放EKC仍值得比较探讨。如图3a所示,盐池的农业碳排放EKC仍处于倒“U”字型曲线的上升阶段,即农业经济增长的初期;而平度已处在曲线的下降阶段,即农业经济增长的后期,如图3b所示。可见盐池农业碳排放随经济增长而增长,可称之为“两难”阶段,因为当前和未来加快发展西部地区的经济是必然的趋势,但是经济发展的同时,又会带来大量的碳排放。而此时平度农业碳排

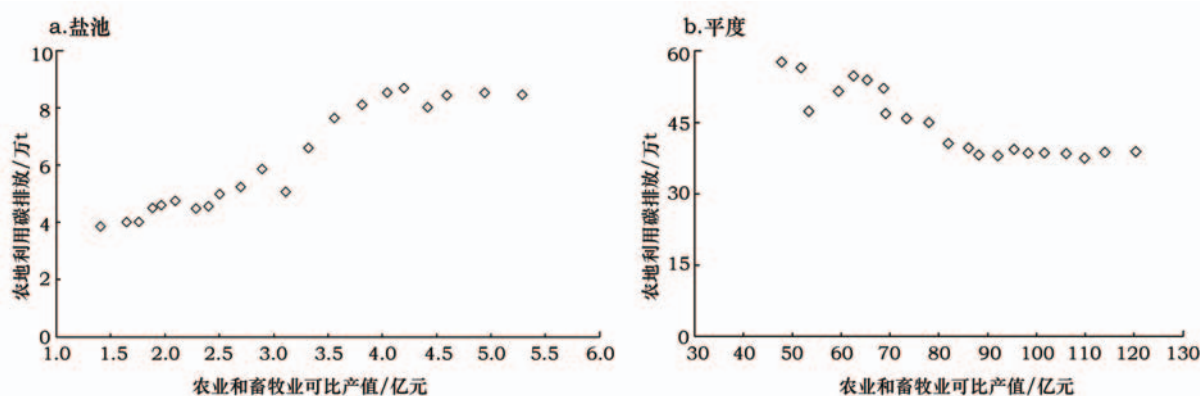


图3 1995–2015年平度和盐池农业经济增长与碳排放之间的关系

Figure 3 Relationships between agricultural economic growth and carbon emissions in Yanchi County and Pingdu City from 1995 to 2015

放已随经济增长而减少,有学者将其称为“双赢”阶段,因为可以兼顾农业碳减排与经济增长,或者至少没有一方受损<sup>[33]</sup>。

盐池与平度的农业碳排放EKC之所以分别处在一般EKC倒“U”字型的两边,原因可能在于两地的自然禀赋、人文因素和政策导向的差异。盐池位于经济发展较晚、发展较慢的西部地区,水热条件差,土壤比较贫瘠;平度位于经济发展较早、发展较快的东部沿海地区,农业集约化程度高,水热条件好、土壤肥沃。此外,两地农地的农业化学物质利用率、农资投入结构、改良种子、高产值经济作物的占比、农地管理等的差异也是造成其农业碳排放EKC差异的重要因素。因此,国家在制定各地区的碳减排目标时,应该根据区域自然、经济和社会因素,有所区别,不能一概而论。

结合案例区农业碳排放和各因子碳排放量变异程度和农业碳排放EKC,可知盐池在兼顾经济发展和农业碳减排的双重重任下,应该努力发展“种(种植)养(养殖)加(加工)一体化”循环经济,既能减少粪便直接排放对土壤、大气和水的污染,也能减少无机化肥的施用而额外带来的农业碳排放。据本研究初步估算2015年盐池的畜牧养殖产生N可达47.27万t,而使用的N肥才0.21万t(加上复合肥中N,也才达到了0.28万t),因此盐池发展“种养加一体化”循环经济迫在眉睫。平度的农牧业产值较高,同时农业生产结构和农资投入水平已形成相对稳定的状态,因此,要实现农业碳减排目标,需进一步加强高技术、高工艺农资产品的利用。最后,

笔者认为国家和地方农业碳减排的当务之急是对低碳环保农膜等农资产品的研发与推广利用。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

本研究以宁夏盐池县和山东平度市为例,探讨处于不同农业经济发展水平下的农业碳排放特征及变化规律,并提出了相应的碳减排策略。主要研究结论如下:

(1)盐池和平度农业排放量及变化趋势不同。1995-2015年年均农业碳排放,盐池的仅为6.13万t,而平度的已达到45.79万t。农牧业产值较低的盐池处于快速增加的状态,年均增长率为4.38%,而产值较高的平度已处在逐年减少的状态,年均减少率为1.95%。

(2)两区的农业碳排放的构成存在很大的差异。畜牧业养殖是盐池农业碳排放的主要来源,从1995-2015年,其年均占比已超过75.00%;而平度的主要来源有农用化学物质投入间接碳排放和畜牧业养殖碳排放,年均占比分别为38.73%,36.20%,两者之和约为75.00%。

(3)两区的农业碳排放EKC所处阶段不同。盐池的农业碳排放EKC处于完整EKC倒“U”字型的上升阶段,农业经济增长的初期,兼顾着经济发展和农业碳减排的双重重任,应该努力发展“种(种植)养(养殖)加(加工)一体化”循环经济,既能减少粪便直接排放对土壤、大气和水的污染,也能减少无机化肥的施用而额外带来的农业碳排放。而平度的EKC由于处于曲线的下降阶段,农业经济增长



2017年10月

的后期,其农牧业产值较高同时农业生产结构和农资投入水平已形成相对稳定的状态,因此,平度为实现农业碳减排,应当倡导选用更加低碳环保的农资产品,以此来减少农资本身和使用过程中的碳排放。

## 4.2 讨论

本文仅结合案例区种植业和畜牧业生产养殖(忽略园地)特点,核算了主要农用化学物质投入间接碳排放、氮肥施用直接 $\text{N}_2\text{O}$ 释放、耗能碳排放、秸秆燃烧碳排放和牲畜养殖 $\text{CH}_4$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ 排放,忽略其它投入的间接碳排放,故不能解答农业生产过程中的碳的“源”与“汇”的问题。为了体现不同地区农业生产及其碳排放的差异,本研究也尽量区分不同地区的种植和养殖生产要素以及利用方式,但是仍做不到完全区分不同地区种植和养殖方式下碳排放系数,故不同区域碳排放系数的更新是亟待开展的基础性工作<sup>[11]</sup>。国内没有相关农药和农膜碳排放量的试验数据,笔者认为可以借鉴陈舜等给出化肥碳排放的测算方法<sup>[20]</sup>,从生产原料和工艺出发,测算其碳排放。灌溉和耕作耗能碳排放系数仍然是借鉴引用国外的数据,因此今后的研究重点,需区分时间和地点,更准确地测算中国农田的灌溉和耕作中的碳排放量。尽管两地的种植和畜牧业各具特点,平度经历的农业碳排放过程未必就是盐池未来的写照,但在注重区域差异的前提下,农业经济发展水平较低且处于快速增长趋势的盐池县可以借鉴农业经济发展水平较高的平度市在农业经济投入产出过程中出现过的或应该注意的问题,尽早使其农业碳排放EKC过渡到倒“U”字型的下降阶段,即兼顾好经济增长和农业碳减排双重重任。

## 参考文献(References):

- [1] Team C W, Pachauri R K, Meyer L A, et al. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Geneva: Climate Change 2014: Synthesis Report, 2014.
- [2] Panayotou T. Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development[R]. Geneva: International Labour Office, 1993.
- [3] Shafik N, Bandyopadhyay S. Economic Growth and Environ-

- mental Quality: Time-series and Cross-Country Evidence[M]. Washington: World Bank Publications, 1992.
- [4] Schmalensee R, Stoker T M, Judson R A. World carbon dioxide emissions: 1950-2050[J]. *Review of Economics and Statistics*, 1998, 80(1): 15-27.
- [5] Galeotti M, Lanza A. Desperately seeking environmental Kuznets[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2005, 20(11): 1379-1388.
- [6] 范金, 胡汉辉. 环境 Kuznets 曲线研究及应用[J]. 数学的实践与认识, 2002, 32(6): 944-951. [Fan J, Hu H H. Studies and applications of environmental Kuznets curve (EKC) [J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2002, 32(6): 944-951.]
- [7] 余东华, 张明志. “异质性难题”化解与碳排放EKC再检验-基于门限回归的国别分组研究[J]. 中国工业经济, 2016, (7): 57-73. [Yu D H, Zhang M Z. Resolution of “the heterogeneity difficulty” and re-verification of the carbon emission EKC-based on the country grouping test under the threshold regression [J]. *China Industrial Economics*, 2016, (7): 57-73.]
- [8] 周铁军, 赵廷宁, 孙保平, 等. 宁夏盐池县土地利用与景观格局变化研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 135-138. [Zhou T J, Zhao T Y, Sun B P, et al. Study on change of land use and landscape pattern of Yanchi County, Ningxia[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(1): 135-138.]
- [9] 姜玲. 宁夏盐池县生态环境的治理与保护对策[J]. 宁夏工程技术, 2006, 5(2): 206-208. [Jiang L. Study on the mean of tackling and protecting eco-environment in Yanchi[J]. *Ningxia Engineering Technology*, 2006, 5(2): 206-208.]
- [10] 吴金凤. 农地集约利用碳足迹变化及可持续性对比分析[D]. 北京: 中国科学院, 2013. [Wu J F. Comparative Analysis of Carbon Footprint Change and Sustainability of Agricultural Land Intensive Utilization [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2013.]
- [11] 李金玺, 姜栋. 浅谈平度市土地利用的特点及利用方向[J]. 山东国土资源, 2009, 25(7): 11-13. [Li J X, Jiang D. Discuss characteristics and orientation of land use in Pingdu City[J]. *Shandong Land and Resources*, 2009, 25(7): 11-13.]
- [12] 宁夏回族自治区统计局. 宁夏统计年鉴1996-2016[M]. 北京: 中国统计出版社, 1996-2016. [Statistics Bureau of the Ningxia Hui Autonomous Region. Ningxia Statistical Yearbook 1996-2016[M]. Beijing: China Statistics Press, 1996-2016.]
- [13] 盐池县统计局. 盐池县统计年鉴2000-2010[M]. 盐池: 盐池县统计局, 2000-2010. [Statistics Bureau of Yanchi County. Yanchi Statistical Yearbook 2000-2010[M]. Yanchi: Statistics Bureau of Yanchi County, 2000-2010.]
- [14] 宁夏回族自治区统计局. 盐池经济要情手册2011-2016[M]. 盐池: 盐池县统计局, 2011-2016. [Statistics Bureau of the Ningxia Hui Autonomous Region. Yanchi Statistical Yearbook

- 2011-2016[M]. Yanchi: Statistics Bureau of Yanchi County, 2011-2016.]
- [15] 青岛市统计局. 青岛统计年鉴2001-2016[M]. 北京: 中国统计出版社, 1996-2016. [Statistics Bureau of Qingdao City. Qingdao Statistical Yearbook 2001-2016[M]. Beijing: China Statistics Press, 2001-2016.]
- [16] 山东省统计局. 山东省统计年鉴1996-2016[M]. 北京: 中国统计出版社, 1996-2016. [Statistics Bureau of Shandong Province. Shandong Statistical Yearbook 1996-2016[M]. Beijing: China Statistics Press, 1996-2016.]
- [17] 中华人民共和国国家统计局. 中国农村统计年鉴(1996-2016) [M]. 北京: 中国统计出版社, 1996-2016. [National Bureau of statistics of the People's Republic of China. China Rural Statistical Yearbook 1996-2016[M]. Beijing: China Statistics Press, 1996-2016.]
- [18] 吴金凤, 王秀红. 1995-2012年宁夏盐池县种植业碳足迹变化特征[J]. 资源科学, 2015, 37(8): 1677-1684. [Wu J F, Wang X H. Changes in the carbon footprint of crop production in Yanchi County, Ningxia Hui Autonomous Region from 1995 to 2012[J]. *Resources Science*, 2015, 37(8): 1677-1684.]
- [19] 吴金凤, 王秀红. 农地利用碳强度及可持续性动态变化-以山东省平度市为例[J]. 生态学报, 2017, 37(9): 1-9. [Wu J F, Wang X H. Dynamic changes in the carbon intensity and sustainability of farmland use: a case study in Pingdu County Shandong Province, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(9): 1-9.]
- [20] 陈舜, 逯非, 王效科. 中国氮磷钾肥制造温室气体排放系数的估算[J]. 生态学报, 2015, 35(19): 6371-6383. [Chen S, Lu F, Wang X K. Estimation of greenhouse gases emission factors of China's nitrogen, phosphate and potash fertilizers[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(19): 1-19.]
- [21] 张卫峰, 李亮科, 陈新平, 等. 我国复合肥发展现状及存在的问题[J]. 磷肥与复肥, 2009, 24(2): 14-16. [Zhang W F, Li L K, Chen X P, et al. The present status and existing problems in China's compound fertilizer development[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2009, 24(2): 14-16.]
- [22] Lal R. Carbon emission from farm operations[J]. *Environment International*, 2004, 30(7): 981-990.
- [23] 黄祖辉, 米松华. 农业碳足迹研究-以浙江省为例[J]. 农业经济问题, 2011(11): 40-47. [Huang Z H, Mi S H. Research of agricultural Carbon footprint-taking Zhejiang Province as an example[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2011, (11): 40-47.]
- [24] Dubey A, Lal R. Carbon footprint and sustainability of agricultural production systems in Punjab, India, and Ohio, USA[J]. *Journal of Crop Improvement*, 2009, 23(4): 332-350.
- [25] 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 & Environment*, 2002, 91(1): 217-232.
- [26] Eggleston H S, Buendia L, Miwa K, et al. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use [R]. Hayama: 2006 IPCC Guidelines, 2006.
- [27] 省级温室气体清单编制指南(试行)[EB/OL]. (2011-05)[2017-09-15]. <https://wenku.baidu.com/view/c28d051b52d380eb62946df5.html>. [Guidelines for the Preparation of Provincial GHG Inventories (Trial) [EB/OL]. (2011-05)[2017-09-15]. <https://wenku.baidu.com/view/c28d051b52d380eb62946df5.html>.]
- [28] 朱建春, 李荣华, 杨香云, 等. 近30年来中国农作物秸秆资源量的时空分布[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(4): 139-145. [Zhu J C, Li R H, Yang X Y, et al. Spatial and temporal distribution of crop straw resources in 30 years in China[J]. *Journal of Northwest A & F University (National Science Edition)*, 2012, 40(4): 139-145.]
- [29] 王芳, 李友宏, 赵天成, 等. 宁夏CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O温室气体排放量估算及减排措施[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(11): 73-77. [Wang F, Li Y H, Zhao T C, et al. Measurement on CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O emission and emission reduction[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(11): 73-77.]
- [30] 孙亚萍. 青岛市农作物秸秆资源综合利用现状及对策[J]. 农业环境与发展, 2011, 28(3): 34-36. [Sun Y P. Comprehensive utilization status and countermeasures for straw in Qingdao city [J]. *Agro-Environment & Development*, 2011, 28(3): 34-36.]
- [31] 刘丽华, 蒋静艳, 宗良纲. 农业残留物燃烧温室气体排放清单研究: 以江苏省为例[J]. 环境科学, 2011, 32(5): 1242-1248. [Liu L H, Jiang J Y, Zong L G. Emission inventory of greenhouse gases from agricultural residues combustion: a case study of Jiangsu province[J]. *Environmental Science*, 2011, 32(5): 1242-1248.]
- [32] Team C W, Pachauri R K, Reisinger A, et al. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Geneva: Climate Change 2007: Synthesis Report, 2007.
- [33] 曲福田, 吴丽梅. 经济增长与耕地非农化的库兹涅茨曲线假说及验证[J]. 资源科学, 2004, 26(5): 61-67. [Qu F T, Wu L M. Hypothesis and validation on the Kuznets curves of economic growth and farmland conversion[J]. *Resources Science*, 2004, 26(5): 61-67.]



# Comparative analysis of agricultural carbon emissions at different agricultural economic development levels in Yanchi County and Pingdu City

WU Jinfeng<sup>1,2</sup>, WANG Xiuhong<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Comparative analyses of agricultural carbon emissions at different agricultural economic development levels is helpful to understanding regional low carbon economic development. Based on the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis, using Yanchi County in the Ningxia Hui Autonomous Region and Pingdu City in Shandong as two comparative study areas, we analyzed the changing characteristics of agricultural carbon emissions, and the relationship between agricultural carbon emissions and economic growth in crop-livestock farming from 1995 to 2015 in order to provide a scientific basis for agricultural carbon reduction at different intensive levels. We found that the total agricultural carbon emissions for Pingdu were much greater than that of Yanchi. However, the annual average changing rates of agricultural carbon emissions and intensity in Yanchi increased, while that in Pingdu decreased. There were great differences in the causes of agricultural carbon emissions between two areas. Livestock farming in Yanchi County was a primary source of agricultural carbon emissions; while main carbon emissions in Pingdu included indirect carbon emissions from agrochemical materials and livestock farming. According to the agricultural carbon emission EKC hypothesis, we can conclude that agricultural carbon emission EKC for Yanchi was at the beginning of economic growth in crop-livestock farming. Therefore, Yanchi should weigh the benefits of economic growth and agricultural carbon reduction and try to develop an eco-environmentally friendly economy with recycling excretion from livestock farming, which not only prevent regional soil, air and water from being contaminated with excretion direct discharge, but also improve crop yield and reduce agricultural carbon emissions. However, the EKC for Pingdu was at a later period of economic growth in crop-livestock farming, indicating that it is possible to reduce carbon emissions and maintain certain agricultural economic benefits. Carbon emission reduction should be implemented strictly in Pingdu by using low-carbon environmental protection agrochemicals.

**Key words:** carbon emissions; crop farming; livestock farming; Yanchi County; Pingdu City