

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20190805

· 绿色农业 ·

山西省农业温室气体排放探析*

赵晓强^{1*}, 张元庆²

(1. 山西农业大学经济管理学院, 晋中 030801; 2. 山西省农业科学院畜牧兽医研究所, 太原 030032)

摘要 [目的] 关注农业温室气体的排放, 有利于农业生态文明建设。[方法] 文章以山西省农业作为研究对象, 运用实地调研和文献查阅法对山西省农业现状进行了分析, 并运用农业系统的碳排放估算方法对2006—2015年的农业投入要素和畜禽养殖数量产生的碳排放进行了测算。[结果] (1) 山西省农业碳排放量呈现先上升后趋于稳定的状态, 近年来农业碳排放总量维持在220万t左右, 农业投入要素产生的碳排放比重从高到低依次为化肥、农膜、柴油、农药、灌溉和翻耕; (2) 种植业碳排放最高的运城市约为36.359万t, 排放最低的阳泉市为2.782万t, 运城市是阳泉市的13倍; (3) 畜禽养殖数量决定畜禽碳排放量的数值, 2015年山西省养殖业CH₄排放量最大的是晋中市, 排放量达到4260.56t, 养殖业CH₄排放量最小的是阳泉市, 排放量为387.51t, 晋中市的排放量是阳泉市的11倍; (4) 受自然资源、农业政策和当地经济发展状况的影响, 山西省各地市的碳排放分布不均匀。[结论] 建议农户采用低碳农业生产方式; 政府鼓励适当的农业规模化生产、鼓励低碳生产技术的研发和使用, 兼顾经济、生态和社会三方效益, 合理发展低碳农业。

关键词 低碳农业 生态文明 碳排放测算 结构特征 区域特征

中图分类号: F323.22 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9121[2019]08038-07

0 引言

农业生产会产生温室气体, 在可持续发展理念的指导下, 消耗更少的农业生产要素、产生更少的农业环境污染, 获得更多的农业产出, 注重投入过程的物质能量减量化及有机肥对化肥的替代作用, 有利于温室气体的减排, 有利于农业的可持续发展。近年来国内关于农业碳排放的文献逐渐丰富起来。李波^[1]从农业生产要素投入角度测算了农业碳排放的结构特征和区域差异, 并分析了农业碳排放的抑制因素和推动因素; 庞丽^[2]对中国西部、中部、东部地区的农业碳排放差异进行了分析, 对指出了提高农业效率, 降低农业碳排放的一些措施; 吕志强^[3]从区域角度来分析我国的低碳农业的竞争力, 指出东北、西北、西南和东南沿海地区之间的低碳竞争力有差异显著; 谢淑娟等^[4]深入探讨了低碳农业的指标体系, 运用加乘混合合成法等方法对广东省的低碳农业进行了量化分析; 杨自立等^[5]以北京市梨果园生产经营作为研究对象, 构建了低碳管理技术体系, 对灌溉、用电、化肥和农药的碳足迹进行了测算; 唐廉等^[6]以重庆市酉阳县种植业作为研究对象, 分析了种植业的碳吸收和排放情况, 结果表明种植业结构调整有利于低碳农业的发展, 秸秆焚烧和农业化学物质的消耗不利于低碳农业的发展。上述学者关于低碳农业的研究, 有以全国为研究对象的, 也有以省份为研究对象的, 还有以具体的生产经营对象为研究对象的, 从不同角度对低碳农业的发展提供了建议。但涉及山西省低碳农业的研究较少, 文章以2006—2015年山西省农业数据作为研究对象, 采用农业碳排放系统的测算方法, 测算使用化肥、农药、农膜、农用柴油、翻耕、灌溉以及畜禽养殖数量所产生的碳排放量, 并分析碳排放演变趋势、分析化肥、农药、农膜、农用柴油、翻耕、灌溉占

收稿日期: 2018-11-21

作者简介: 赵晓强(1979—), 男, 山西晋中人, 硕士、讲师。研究方向: 农业经济, Email: 13466843158@126.com

* 资助项目: 农业农村部公益性行业专项基金项目“华北主要农作物秸秆饲用价值评定及饲用化利用技术与研究”(201503134); 山西省软科学一般研究项目“基于农户生产行为的山西省农村面源污染研究”(2018041072-3)

农业碳排放量的比例和山西省农业碳排放地域分布特征，有利于为山西省低碳农业的发展提供可行性建议。

1 山西省农业状况

2016 年山西省的三次产业结构比例为 6.1:38.1:55.8，第一产业总值为 784.57 亿元，第一产业的产值份额占全省的产值份额一直处于较稳定的状态，大致在 6% 左右^[7]。

1.1 耕地面积状况

2016 年山西省的耕地面积约 406.84 万 hm^2 ，农作物的总播种面积为 372.08 万 hm^2 ，人均耕地量为 0.12 hm^2 。

1.2 种植业状况

山西省主要的农作物有小麦、玉米和土豆；还有高粱、燕麦、莜麦、谷子等多种小杂粮。2006 年以来，山西省主要作物播种面积所占比如表 1 所示。从 2013 年以来玉米的播种面积超过小麦成为山西省主要的粮食作物，2016 年玉米播种面积占比为 44.24%；小麦的播种面积占比下降为 17.01%；各种小杂粮的播种比例也在下降，截止 2011 年才呈现出稳定的趋势。

1.3 畜牧业状况

山西省从南到北分布在北纬 34°~40°之间，拥有 400 万 hm^2 的草地，是全国 13 个牧区半牧区省份之一，从北到南有地域特色的畜产品为晋西北羊、北中部牛、中南部鸡、晋东南猪的区域特色。到 2014 年山西畜牧产业规模化水平已经达到 47%，高于全国平均水平 11 个百分点^[8]。山西省近年来动物存栏量如表 2 所示。

从统计数据可知，山西省肉牛、奶牛、绵羊和山羊养殖总量呈现稳定的增长趋势，生猪和家禽数量趋于先下降后上升的倒 U 型趋势，生猪和家禽的养殖规模逐步扩大，2006—2015 年生猪存栏量增长了 80.9%，家禽的存栏量增长了 1.28 倍，生猪和家禽的年均增长率分别为 6.1% 和 8.6%，马、驴和骡的数量趋于下降。

表 1 2006—2016 年山西省主要作物播种面积所占比例

	%						
年份	小麦	玉米	谷子	高粱	豆类	薯类	其他
2006	19.00	31.19	5.71	1.02	9.12	9.33	24.64
2007	21.13	35.31	6.67	1.09	10.31	9.82	15.68
2008	19.50	34.78	6.32	0.97	9.54	6.47	22.43
2009	18.71	36.99	6.04	0.90	9.33	5.56	22.46
2010	19.70	39.31	5.41	0.75	9.11	5.23	20.49
2011	19.35	41.15	5.45	0.91	8.87	5.06	19.21
2012	18.70	43.36	5.42	0.78	8.46	5.06	18.21
2013	18.15	43.96	5.45	0.76	8.54	5.01	18.13
2014	17.91	44.15	5.55	0.76	8.47	5.04	18.12
2015	17.01	44.23	5.46	0.77	8.45	5.02	19.06
2016	17.01	44.24	5.48	0.78	8.46	5.01	19.02

资料来源：山西省统计年鉴

表 2 2006—2015 年山西省动物存栏量

	万								
年份	非奶牛	奶牛	马	驴	骡	猪	山羊	绵羊	家禽
2006	197.99	33.03	3.50	30.14	28.06	607.10	476.91	663.80	7 362.5
2007	179.13	31.77	2.25	20.42	18.81	422.20	374.58	371.82	6 576.9
2008	162.40	31.40	2.25	22.90	20.50	452.20	416.28	327.72	7 699.9
2009	163.20	27.40	2.23	22.89	20.44	498.80	375.10	372.60	6 216.9
2010	161.30	28.80	1.71	18.87	16.96	474.84	353.40	381.30	5 694.7
2011	159.96	41.59	1.58	18.54	15.00	446.10	369.20	409.50	6 282.1
2012	156.77	42.11	1.46	16.29	13.01	1 021.97	558.08	774.08	14 267.5
2013	146.62	42.21	3.80	20.75	14.85	1 078.78	595.58	882.44	15 120.2
2014	148.99	44.24	3.42	21.65	12.93	1 115.03	684.03	1 106.22	15 962.4
2015	152.94	43.70	3.29	22.52	12.38	1 098.25	707.69	1 198.98	16 815

资料来源：2006—2010 年山西省统计年鉴、2011—2015 年山西省农业厅

2 山西省主要农业碳排放状况

2.1 农业系统的碳排放估算方法

一般而言, 农业碳排放是指在农业生产过程中由于生产资源的使用、畜禽自身生长以及农业废弃物所产生的碳^[9]。该文所涉及农业碳排放主要包括化肥、农药、农膜等生产资源的使用导致的碳排放; 灌溉、农用柴油的能源使用

引起的碳排放, 播种导致的碳流失, 畜禽自身生长和粪便排放产生的 CH₄。

碳排放效应测算公式为:

$$E = \sum E_i = \sum T_i \cdot C_i \quad (1)$$

式(1)中, E 为农业碳排放总量; E_i 为各类碳源碳排放量; T_i 为各碳排放源的量; C_i 为各碳排放源的碳排放系数^[10]。

养殖业的碳排放主要是动物肠道发酵产生的 CH₄, 目前学术界常引用的各类常见动物的甲烷排放因子如表 4 所示^[11-12]。

表 4 不同动物 CH₄ 排放因子

kg/(头·年)

	奶牛	非奶牛	绵羊	山羊	猪	家禽	马	驴骡
CH ₄	7.95	2.82	0.15	0.17	3.12	0.015	1.09	0.6

资料来源: 中国农业大学

该文中的甲烷排放计算规则是家禽类按照其存栏数量乘以甲烷排放因子计算, 其他家畜是其存栏数量的 1/2 乘以对应的甲烷排放因子计算。也即由于家禽总体甲烷排量较小, 其甲烷排量按照家禽的实际存栏量来计算, 而其他家畜则考虑其生长周期等因素, 其甲烷排放总量按照总存栏量的 1/2 计算^[8]。

2.2 数据资料

农业机械的使用、农田灌溉等活动会排放 CO₂, 化肥、农药、农膜等农业生产资料的使用也排放 CO₂。灌溉面积、翻耕面积、农用柴油量、畜禽养殖量、化肥、农膜和农药使用量来自于山西省统计年鉴和山西省农业厅。其中农膜、农药、化肥和柴油以当年山西省实际使用量为准, 翻耕数据以当年农作物实际播种面积为准, 农业灌溉以当年实际灌溉面积为准。

2.3 种植业碳排放特征

(1) 种植业碳排放总量特征。运用碳排放效应测算公式得出近年来山西省农业碳排放数据如表 6 所示。结果表明山西种植业碳排放量一直呈上升趋势, 碳排放量由 2006 年的 137.14 万 t 增长为 2015 年的 168.11 万 t, 增长量为 30.97 万 t; 从增长速度来看, 2006—2015 年平均增长速度为 2.29%, 其中 2011 年增速最快, 2011 年的增长率为 4.75%, 2013 年的碳排放总量达到最高值, 2014 年和 2015 两年的碳排放总量缓慢下降。

(2) 种植业碳排放结构特征。从山西种植业碳排放的结构上看, 化肥使用导致的碳排放比重近 10 年

表 3 各类指标农业碳排放系数

指标	碳排放系数	碳排放系数单位	资料来源
化肥	0.895 6	kg/kg	美国橡树岭国家实验室
农药	4.934 1	kg/kg	美国橡树岭国家实验室
农膜	5.180 0	kg/kg	美国橡树岭国家实验室
柴油	0.592 7	kg/kg	美国橡树岭国家实验室
翻耕	312.60	kg/km ²	中国农业大学
灌溉	266.48	kg/hm ²	中国农业大学

表 5 2006—2015 年山西省种植业投入要素使用量
万 t

年份	化肥	农药	农膜	农用柴油
2006	98.30	2.30	3.46	27.34
2007	100.80	2.32	3.57	28.01
2008	103.40	2.40	3.61	29.05
2009	104.32	2.53	4.15	29.76
2010	110.37	2.61	3.89	29.25
2011	114.57	2.84	4.15	30.68
2012	118.28	2.98	4.59	30.78
2013	121.02	3.05	4.64	30.80
2014	119.61	3.10	4.84	30.60
2015	118.55	3.10	4.79	29.80

资料来源: 山西省统计年鉴

来围绕 63% 上下波动，是主要的碳排放源。其次为柴油、农药、农膜。近 10 年来山西省各种主要的种植业投入排放量不同程度增加，年均增长量由高到低依次为农膜 3.66%，其次是农药，为 3.37%，再次是化肥，为 2.1%，灌溉为 2.02%，柴油为 0.96%，翻耕为 0.73%。从比重变化情况看，农药和农膜碳排放比重呈增加趋势，化肥比重趋于稳定状态，灌溉、柴油和翻耕的碳排放比重趋于下降。

(3) 种植业碳排放区域特征。山西省种植业碳排放量从地区分类来看，从高到低，可分为 4 个等级，第一等级为运城、临汾、晋中 3

个市，2015 年这 3 个市的种植业碳排放总量占山西省种植业碳排放总量的比例为 47.7%；忻州、长治和朔州 3 市的种植业碳排放比例占全省的 28.2%；大同、吕梁和晋城 3 市的碳排放量相差不大，3 市的碳排放总值约占全省的 19.6%；太原和阳泉两市的农业碳排量最低，约占全省碳排放比例的 4.6%。

(4) 种植业碳排放强度区域比较。种植业碳排放强度是种植业碳排放总量与耕地面积之比，该数值越大表明单位耕地面积的碳排放量越大。

表 6 2006—2015 年山西省种植业碳排放量 万 t

年份	化肥	农药	农膜	柴油	灌溉	翻耕	总计
2006	88.04	11.35	17.93	16.20	2.43	1.19	137.14
2007	90.28	11.45	18.51	16.60	2.55	1.21	140.60
2008	92.61	11.84	18.69	17.22	2.54	1.24	144.14
2009	93.43	12.48	21.51	17.64	2.57	1.25	148.88
2010	98.84	12.88	20.13	17.34	2.50	1.26	152.96
2011	102.61	14.01	21.51	18.18	2.63	1.28	160.22
2012	105.93	14.70	23.76	18.24	2.63	1.28	166.54
2013	108.39	15.05	24.03	18.26	2.76	1.27	169.76
2014	107.13	15.30	25.06	18.17	2.81	1.27	169.74
2015	106.17	15.30	24.8	17.66	2.91	1.27	168.11

表 7 2010—2015 年山西省各地区种植业碳排放量

万 t

地区	2010	2011	2012	2013	2014	2015	地区	2010	2011	2012	2013	2014	2015
太原市	4.437	4.648	4.831	4.924	4.924	4.877	晋中市	18.181	19.044	19.795	20.178	20.176	19.982
大同市	10.265	10.752	11.176	11.392	11.391	11.282	运城市	33.083	34.653	36.020	36.716	36.712	36.359
阳泉市	2.531	2.652	2.756	2.809	2.809	2.782	忻州市	16.465	17.247	17.927	18.274	18.271	18.096
长治市	16.331	17.106	17.781	18.125	18.122	17.948	临汾市	21.708	22.738	23.635	24.092	24.089	23.858
晋城市	9.148	9.582	9.96	10.152	10.151	10.054	吕梁市	10.502	11.001	11.435	11.656	11.655	11.543
朔州市	10.309	10.798	11.224	11.441	11.439	11.330	合计	152.960	160.220	166.540	169.760	169.740	168.110

表 8 2010—2015 年山西省各市种植业碳排放强度

kg/hm²

地区	2010	2011	2012	2013	2014	2015
太原市	551.32	577.48	600.26	611.87	611.80	605.92
大同市	367.31	384.75	399.92	407.66	407.61	403.69
阳泉市	445.22	466.35	484.75	494.12	494.06	489.32
长治市	652.42	683.39	710.35	724.08	724.00	717.04
晋城市	463.74	485.75	504.91	514.68	514.62	509.67
朔州市	376.92	394.81	410.38	418.31	418.27	414.25
晋中市	665.84	697.44	724.96	738.97	738.89	731.79
运城市	481.94	504.81	524.73	534.87	534.81	529.67
忻州市	385.41	403.70	419.63	427.74	427.69	423.58
临汾市	423.32	443.41	460.90	469.81	469.76	465.24
吕梁市	297.73	311.86	324.16	330.43	330.39	327.22

分析 2010—2015 年山西省各地市种植业碳排放强度（表 8），可以看出山西省各地市种植业碳排放强度从高到低依次为：晋中市、长治市、太原市、运城市、晋城市、阳泉市、临汾市、忻州市、朔州市、大同市、吕梁市。农业重视度高或者设施农业较发达的地区碳排放强度高。以太原市为例，2016 年，太原市地区生产总值（GDP）2 955.60 亿元，其中农林牧渔业总产值 76.81 亿元，第一产业占总产值的比例为

2.6%，温室、大棚、中小棚共达到2.78万个，其中以蔬菜种植为主，蔬菜播种面积0.45万 hm^2 ，增长4.8%；蔬菜产量26.28万t，增长5.9%^[13]。土地面积少，农药、化肥、地膜等生产要素投入数量大以及农机使用方便，导致碳排放强度比较高。

2016年晋中市的农林牧渔业总产值190.6亿元，粮食总产量达184.4万t，比2015年增长4.9%。2016年蔬菜产量为294.6万t，比2015年增长4.4%。2016年，全市肉类总产量21.2万t，禽蛋总产量16.1万t，奶类总产量14.3万t，比2015年分别增长2.9%、1.8%、1%^[14]。晋中市农业产值的提升离不开农业生产要素的大量使用。

吕梁市由于煤矿较多，农业收入占据农民收入的比例很低，另外该市多山区，自然条件差，农业劳动强度大，使得当地农民对农业投入重视度降低，从而导致农业的碳排放强度最低。

2.4 养殖业 CH_4 排放

(1) 养殖业 CH_4 总量排放特征。以2006—2015年的山西省各年度动物存栏量作为研究对象，利用不同动物的 CH_4 排放因子，估算出动物肠道发酵过程中排放的 CH_4 数量（表9）。由表9可以看出，动物肠道发酵的 CH_4 排放曲线呈现为典型的先降后升形状， CH_4 排放量的变化主要由养殖数量的变化来决定。2006—2011年这6年 CH_4 的排放量呈现下降趋势，每年下降4.6%；2012年起， CH_4 排放量急剧上升，比2011年增长了84.8%，2012—2015年， CH_4 又转入以年均2.88%缓慢上升的增长阶段。

(2) 养殖业 CH_4 排放区域特征。通过表10可以看出，2011—2015年忻州市、大同市、运城市、朔州市和临汾市的畜禽养殖 CH_4 排放量逐年上升，其中忻州市上升幅度最大，年均增长率达到5.18%，大同市年均增长率达到2.44%，朔州市年均增长率达到1.02%，运城市年均增长率达到0.8%，临汾市的年均增长率最小为0.23%。忻州、朔州和大同属于晋北，晋北地区草场资源丰富，特别适合饲养牛羊，3市 CH_4 排放量的增长表明当地牛羊的养殖数量逐年增加。运城市和临汾市同属于晋南地区，其牛羊猪禽的养殖变化幅度不大。

CH_4 排量呈现下降幅度的市依次为太原市、吕梁市、晋城市、阳泉市、长治市和晋中市。其中太原市由于城市的扩张，土地价格的上升以及禁养区的划定等而导致养殖业不断地向郊区或者其他地市转移，吕梁市、晋城市和阳泉市由于猪肉价格近年来不太景气导致猪饲养数量的下降，从而导致 CH_4 的排放量下降。长治市由于牛养殖数量的下降而导致 CH_4 排放量的降低。晋中市的猪、禽类养殖数量下降较多，牛羊养殖量变化不大，但总体养殖数量缓慢下降，导致了 CH_4 排放量的下降。

2.5 山西省主要农业碳排放总量

山西省农业碳排放总量特征见表11，从排放数量看，由2006年的170.27万t增长为2015年的220.97万t，增长量为50.7万t；从增长速度来看，2011年增速最快，2011年的碳排放比2010年的碳排放增长了22%，2014年的碳排放总量达到最高值，2015年比2014年的碳排放总量略有下降且增长率为-0.74%。

表9 2006—2015年山西省养殖业碳排放量 万t

年份	CH_4	折算为 CO_2	年份	CH_4	折算为 CO_2
2006	1.58	33.13	2011	1.25	26.33
2007	1.21	25.39	2012	2.31	48.55
2008	1.25	26.23	2013	2.41	50.69
2009	1.28	26.97	2014	2.52	52.88
2010	1.24	26.01	2015	2.52	52.86

表10 2011—2015年山西省各地市养殖业 CH_4 排放量

地区	2011	2012	2013	2014	2015
太原市	793.32	626.16	635.69	713.71	648.67
大同市	2372.80	2236.46	2315.81	2519.57	2613.21
阳泉市	452.09	403.70	404.46	400.05	387.51
长治市	2631.56	2322.06	2403.94	2529.42	2536.91
晋城市	3721.64	2673.65	3066.58	3249.32	3122.18
朔州市	1540.24	1428.45	1522.91	1554.99	1583.41
晋中市	4367.27	3709.70	3884.54	4165.00	4260.56
运城市	2756.36	2769.21	2953.31	2954.21	2870.46
忻州市	1829.34	2045.70	2037.60	2164.79	2239.00
临汾市	3209.78	3131.30	3108.26	3137.71	3238.85
吕梁市	2027.41	1675.65	1804.54	1792.69	1671.21

表 11 2006—2015 年山西省农业碳排放总量

万 t

年份	种植业排放	养殖业排放	碳排放总量	年份	种植业排放	养殖业排放	碳排放总量
2006	137.14	33.13	170.27	2011	160.22	26.33	186.55
2007	140.60	25.39	165.99	2012	166.54	48.55	215.09
2008	144.14	26.23	170.37	2013	169.76	50.69	220.45
2009	148.88	26.97	175.85	2014	169.74	52.88	222.62
2010	152.96	26.01	178.97	2015	168.11	52.86	220.97

3 结论和建议

3.1 结论

(1) 山西农业碳排放量有趋于稳定的态势。从 2012 年至今，山西农业每年的碳排放量大体维持在 220 万 t 左右。其中种植业的碳排放量呈现缓慢上升到达峰值再缓慢下降的折线，年排放量大约在 167 万 ~ 170 万 t；养殖业的年碳排放总量在 48 万 ~ 53 万 t。

(2) 山西省的农业依然是高投入高耗能的传统农业。从 2006—2015 年种植业主要投入要素来看，化肥的年使用量由 98 万 t 增长到 120 万 t，农药、农膜的年使用量也逐年增长，农药的使用量由 2006 年的 2.3 万 t 增长为 3.1 万 t；农膜的使用量由 3.46 万 t 增长为 4.84 万 t，农用柴油的使用量也有小幅度的上升。可见山西省农用物资投入量持续增加，农业还没有摆脱对生产要素高投入的依赖性。

(3) 农业碳排放量在空间分布上不均匀。农业发展的地域条件、自然资源，以及当地的经济状况对农业碳排放影响较大。例如吕梁市因为山区多，农业基础设施差，农业收入偏低，但当地煤炭企业多，在煤矿打工的收入远远高于从事农业的收入，当地的土地多撂荒导致了农业碳排放低。相反，山西省运城市土地平整，灌溉方便，便于机械化耕作，劳动强度低，外出打工农民的土地多数流转给他人而不是撂荒，因此运城的农业碳排放较高。

(4) 农业政策、自然资源和畜产品市场价格对养殖业 CH₄ 排放影响较大。晋北地区牧草多，加上近年来对牛羊标准化和规模化养殖的补贴政策、粮改饲项目试点，牛羊肉市场价格比较稳定且养殖风险小等因素，导致晋北地区牛羊数量增多，从而导致 CH₄ 排放量增多。水资源多、土地平整的临汾和运城市，当地的养殖户依据市场价格和补贴政策灵活地调整养殖规模和种类，导致该地区的 CH₄ 增长量缓慢上升。晋东南地区由于猪肉价格的市场风险大，导致该地区的猪存栏量下降，从而导致当地的 CH₄ 排量下降。

3.2 建议

(1) 积极开展低碳农业生产。建议用农家肥或者堆肥来替代化肥，减少化肥的使用量从而降低农业投入要素的碳排放；平整好土地并利用节水灌溉设施降低灌溉用水产生的碳排放；使用低碳农机等生产要素来替代传统的农业生产要素，从而降低碳排放量。

(2) 兼顾经济、生态、社会 3 方面的利益。农户如果从低碳农业中获取的经济收入低于传统农业的经济收入，则会影响农户进行低碳农业生产的积极性。建议政府给农民提供农产品市场价格信息预测、种植规划、技术指导和市场挖掘等方面的帮助，筛选合理的农业项目，尽可能兼顾经济、生态、社会效益。

(3) 推广适当的农业规模。购买低碳农业新设备需要资金的投入，例如推广使用喷灌、滴管技术需要农户购买专用化的设备，零碎化的农户生产行为由于从事农业的收入较低而不愿采购新设备，适当规模化农户由于农业收入占其收入比例大，他们对采用低碳高效农业技术的积极性高于零碎化的农户，适当规模化种植和养殖有利于经营者采用新技术。

参考文献

- [1] 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. 中国人口资源与环境, 2011, 21 (8): 80-86.

- [2] 庞丽. 我国农业碳排放的区域差异与影响因素分析. 干旱区资源与环境, 2014, 28 (12): 1-7.
- [3] 吕志强, 庞容, 朱金盛, 等. 2000—2011年我国农业碳循环及低碳竞争力特征分析. 中国农业资源与区划, 2015, 36 (7): 1-10, 40.
- [4] 谢淑娟, 匡耀求, 黄宁生, 等. 低碳农业评价指标体系的构建及对广东的评价. 生态环境学报, 2013, 22 (6): 916-923.
- [5] 杨自立, 付军利, 高同雨, 等. 北京市现代化都市型农业经营活动碳足迹研究. 中国农学通报, 2016, 32 (3): 128-134.
- [6] 唐廉, 谢世友. 农田生态系统碳足迹特征及低碳发展探讨. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38 (12): 76-82.
- [7] 山西省统计局. 山西统计年鉴2017. 北京: 中国统计出版社, 2017.
- [8] 张建杰, 郭彩霞, 覃伟, 等. 山西省畜禽业发展及粪尿养分时空变异. 应用生态学报, 2016, 27 (1): 207-214.
- [9] 张广胜, 王珊珊. 中国农业碳排放的结构、效率及其决定机制. 农业经济问题, 2014, 35 (7): 18-26.
- [10] 宋德勇, 刘习平. 中国省际碳排放空间分配研究. 中国人口·资源与环境, 2013, 23 (5): 7-13.
- [11] 李玉娥, 董红敏, 林而达. 气候变化对畜牧业生产的影响. 农业工程学报, 1997, 13 (9): 21-24.
- [12] 刘娟, 柯水发, 陈章纯. 北京市农业碳足迹测算与分析. 北京农业经济学会2013年学术年会论文集. 2012: 263-273.
- [13] 太原市人民政府. 太原市2017年国民经济和社会发展统计公报. <http://www.taiyuan.gov.cn/doc/2018/03/23/238649.shtml>.
- [14] 晋中市统计局. 晋中市2016年国民经济和社会发展统计公报. <http://www.jztj.gov.cn/website/tjfx/1023.html>.

ANALYSIS OF AGRICULTURAL GREENHOUSE GAS EMISSION IN SHANXI PROVINCE *

Zhao Xiaoqiang¹*, Zhang Yuanqing²

(1. College of Economics and Management, Shanxi Agricultural University, Jinzhong, Shanxi 030801, China;

2. Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Shanxi Academy of Agricultural Science, Taiyuan, Shanxi 030032, China)

Abstract Paying attention to the emission of agricultural greenhouse gases is beneficial to the construction of agricultural ecological civilization. Taking agriculture in Shanxi province as the research object, this paper makes an analysis of the present situation of agriculture in Shanxi province by means of on-the-spot investigation and literature review. Carbon emissions from agricultural input factors and livestock and poultry farming from 2006 to 2015 were estimated by using the carbon emission estimation method of agricultural system. The results showed that the agricultural carbon emissions in Shanxi province had increased first and then stabilized. In recent years, the total agricultural carbon emissions had maintained at about 2.2 million tons. The proportion of carbon emissions generated by agricultural input factors from high to low was chemical fertilizer, agricultural film, diesel oil, pesticides, irrigation and tillage. The highest carbon emission from planting was about 363.59 million tons in Yuncheng, and the lowest was 27.82 million tons in Yangquan. Yuncheng was 13 times as much as Yangquan. The quantity of livestock and poultry decides the carbon emissions of livestock and poultry. In 2015, the largest CH₄ emission from aquaculture industry in Shanxi province was Jinzhong city, with a total emission of 4260.56 tons. The smallest CH₄ emission from aquaculture industry was Yangquan city, with a total emission of 387.51 tons. The emission of Jinzhong city was 11 times that of Yangquan city. Influenced by natural resources, agricultural policies and local economic development, the distribution of carbon emissions in Shanxi province was uneven. It is suggested that farmers adopt low-carbon agricultural production mode; the government encourages appropriate agricultural scale production; encourages research and development and use of low-carbon production technology, takes account of the economic, ecological and social benefits, and reasonably develops low-carbon agriculture.

Keywords low carbon agriculture; ecological civilization; carbon emission measurement; structure characteristics; regional characteristics