

杜艳玲, 周怀平, 程 曼, 等. 山西省种养废弃物构成及资源化利用潜力研究[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(3): 329-336.

DU Yan-ling, ZHOU Huai-ping, CHENG Man, et al. Study on composition and utilization potential of waste from planting and breeding in Shanxi Province, China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2019, 36(3): 329-336.

山西省种养废弃物构成及资源化利用潜力研究

杜艳玲¹, 周怀平^{2*}, 程 曼², 解文艳², 杨振兴², 郭 晋¹, 吕倩倩¹, 王志伟³

(1.山西大学生物工程学院, 太原 030006; 2.山西省农业科学院农业环境与资源研究所, 太原 030031; 3.山西省气候中心, 太原 030032)

摘 要:为实现种养废弃物的高效利用,通过文献查阅、实地调研等方式对山西省种养废弃物资源量、利用现状进行了调查,估算出主要的农作物秸秆和畜禽粪尿的资源量,分析其在市域尺度上的分布特征、资源化利用潜力及综合高效利用的途径。结果表明,晋南地区存在大量小麦秸秆,其他地区均以玉米秸秆为主。畜禽粪尿中以牛、猪、羊粪尿居多,且存在晋西北多羊、北中部多牛、晋东南多猪的分布格局。2007—2015年山西省农作物秸秆产量由 1.27×10^7 t增加到 1.54×10^7 t,畜禽粪尿的产生量由 1.82×10^7 t增加到 2.02×10^7 t,且山西省种养废弃物的总产量近几年逐渐趋于稳定。若将山西省种养废弃物肥料化,其相当于有机质、N、P、K分别为 1.54×10^7 、 1.25×10^5 、 5.28×10^4 、 1.04×10^5 t,若将其能源化则可转化为标准煤 1.05×10^7 t或沼气 4.59×10^9 m³,资源化潜力巨大。研究表明,山西省种养废弃物资源种类多、数量大,地域性差异大,资源化利用的空间较大,应力争通过肥料化、能源化、饲料化及其他利用途径,实现种养废弃物资源的多途径综合高效利用。

关键词:种养废弃物;山西省;变化特征;空间分布;资源潜力

中图分类号:X713

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2019)03-0329-08

doi: 10.13254/j.jare.2018.0161

Study on composition and utilization potential of waste from planting and breeding in Shanxi Province, China

DU Yan-ling¹, ZHOU Huai-ping^{2*}, CHENG Man², XIE Wen-yan², YANG Zhen-xing², GUO Jin¹, LÜ Qian-qian¹, WANG Zhi-wei³

(1.College of Bio-engineering, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2.Institute of Agriculture Environment and Resources, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China; 3.Shanxi Climate Center, Taiyuan 030032, China)

Abstract: In order to improve the utilization efficiency of the waste from planting and breeding, through reviewing literature and field survey we knew about the number and present situation of the utilization of the waste in Shanxi Province and assessed the characteristics of quantity and spatial distribution on regional scale. Besides, we used the investigation to analyze the potential on the resource utilization and comprehensive utilization efficient way. Results showed that there were large quantities of straws of wheat in the south of Shanxi Province, and in the other regions corn straws played the most important situation. Livestock poultry dung was mostly from cattle, pigs and sheep, and it distributed as most of sheep in the northwestern, cattle in this north center, and pigs in the southeast. During 2007—2015, the crops straw produced from 1.27×10^7 t to 1.54×10^7 t, and the dung output of livestock and poultry came from 1.82×10^7 t to 2.02×10^7 t, and it showed a relatively stabilized tendency in recent years. If the waste from planting and breeding was converted into fertilizer we could get organic matter, N, P, K, respectively 1.54×10^7 , 1.25×10^5 , 5.28×10^4 , 1.04×10^5 t, and if energy-oriented we could get 1.05×10^7 t standard coal,

收稿日期:2018-06-20 录用日期:2018-09-10

作者简介:杜艳玲(1991—),女,山西长治人,硕士研究生,主要从事农田水土资源高效利用研究。E-mail:1290064323@qq.com

*通信作者:周怀平 E-mail:huaipingzhou@126.com

基金项目:山西省重点研发计划重点项目(201603D2110-5, 201703D211002-3);山西省农业科学院院长青年引导专项(ydzz12);山西省农业科学院博士研究基金项目(YBSJJ1614, YBSJJ1615);山西省青年科技研究基金项目(201701D221206);公益性行业(气象)科研专项(GY-HY201306038)

Project supported: Key Research and Development Program Key Projects of Shanxi Province(201603D2110-5, 201703D211002-3); Youth Guide Special of Shanxi Agricultural Sciences Institute Director(ydzz12); Doctor's Research Fund of Shanxi Academy of Agricultural Sciences(YBSJJ1614, YBSJJ1615); Shanxi Youth Science and Technology Research Foundation(201701D221206); Special Research in the Public Sector(Meteorological) Scientific Research Projects(GYHY201306038)

or $4.59 \times 10^9 \text{ m}^3$ biogas. Therefore, the waste was diverse and numerous in Shanxi Province, and it had its own spatial distribution in each area. Besides, it had greater potential of resource. We should try our best to convert waste into fertilizer, energy, feed and other utilization ways in order to achieve a high efficient, comprehensive and integrated utilization. Based on the study, scientific and feasible guidance for Shanxi Province was put forward to realize a more efficient and sustainable utilization of waste from planting and breeding.

Keywords: planting and breeding waste; Shanxi Province; change characteristic; spatial distribution; resource potential

山西省地处干旱半干旱地区,山多地少、水资源匮乏,土壤质量普遍较低,旱作农田占70%以上。2017年6月,习近平总书记在山西省视察时指出,有机旱作是山西农业的一大传统技术特色,要打好特色优势品牌,发展现代特色农业。秸秆和粪肥还田、用地和养地相结合,是有机旱作农业的精华。但当前山西省有机物料转化利用率偏低,秸秆焚烧和废弃、畜禽粪尿随意堆置、城乡生产生活有机废弃物闲置等现象仍然十分普遍。如何合理高效利用有机物料资源,培育和提升旱作农田土壤质量,力争到2020年实现化肥农药使用量零增长,畜禽粪污、秸秆、农膜利用率达到75%以上,一直以来都是山西省农业工作的重点。

目前,关于不同区域种养废弃物的综合利用研究较多,主要集中于农作物秸秆资源量的估算^[1-3]、综合利用^[4-6]、畜禽粪尿资源量的估算^[7-10]、利用^[11-13]及其对环境的危害^[14-18]。但对种养废弃物在区域尺度的时空分异特征及综合高效利用的系统和定量化研究仍然缺乏。山西省作为全国13个牧区半牧区省份之一,拥有400万 hm^2 的草地、100亿 kg 的玉米产量以及可饲养1.5亿只羊的农副产品秸秆。但据调研及查阅文献发现,山西省的秸秆综合利用率仅为64%左右,存在焚烧严重、产业化和规模化水平低等一系列问题^[19]。2015年山西省畜牧产业规模化比重达58%,高出全国平均水平近11个百分点^[20]。因此,系统地分析山西省种养废弃物的时空变异特征及利用潜力意义重大。

本研究在总结相关研究的基础上,从山西省秸秆资源量的时空分布上,对2007—2015年田间秸秆和畜禽粪尿的产量、变化趋势及资源化潜力进行了统计分析,以探明山西省田间秸秆资源储量,了解其综合利用的潜力。山西省寿阳县2016年作为种养废弃物综合利用试点县,进行了利用技术的推广和建设,因此我们对寿阳县进行实地调研。综合数据分析结果和调研成效,本文提出了山西省种养废弃物高效综合利用的发展建议,为提高土壤质量,走有机旱作农业的路子提供理论依据和实践支撑。

1 材料与方法

1.1 数据来源

粮食作物产量与畜禽养殖量来源于山西省农村统计年鉴中2015年的数据,不同农作物的草谷比(表1)参考杨海蓉等^[21]对山西省农作物秸秆资源量及时空分布特征的研究。各牲畜的日排泄系数(表2)参考张建杰等^[22]对山西省畜禽业发展及粪尿养分时空变异的研究,其中猪、鸡、兔的养殖周期分别为199、55、90 d,养殖量按年出栏量计算。牛、羊的饲养量按年末存栏量计算。不同种养废弃物的养分资源含量系数(表1、表2)及转化为标准煤和沼气的系数(表3)参考曾锐^[23]对成都市种养废弃物资源量调查及利用途径研究。

1.2 计算方法

(1)畜禽粪尿产生量的计算方法:

表1 不同农作物养分资源含量

Table 1 Nutrient contents of different crops

养分 Nutrient	玉米 Maize	小麦 Wheat	谷子 Millet	大豆 Beans	薯类 Tubers
草谷比 Straw/Grain	1.17	1.26	1.59	1.6	0.57
有机质 Organic matter/%	70.3	64.2	65.2	71.4	56.5
N/%	0.30	0.31	0.30	0.58	0.35
P/%	0.04	0.04	0.04	0.06	0.05
K/%	0.38	0.65	0.66	0.37	0.48

表2 不同牲畜粪尿养分资源含量

Table 2 Nutrient contents of different livestock manure

养分 Nutrient	牛 Cattle	羊 Sheep	猪 Pig	鸡 Chicken	兔 Rabbit
日排泄系数 Day excretion coefficient/ $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	27.7	0.87	3.40	0.12	0.11
有机质 Organic matter/%	18.0	32.5	23.7	28.5	26.3
N/%	0.3	0.6	0.6	1.2	1.2
P/%	0.2	0.3	0.5	1.1	0.2
K/%	0.1	0.2	0.4	0.4	0.2

表3 不同种养废弃物能量资源转化系数

Table 3 Energy resources coefficient of different waste from planting and breeding

大类 Class	小类 Subclass	标准煤转化系数 Conversion coefficient of standard coal	单位产沼气量 Biogas production by unit waste/ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	可回收系数 Recoverable coefficient	干物质比例 Dry matter ratio/%
作物秸秆 Crop straw	小麦 Wheat	0.50	0.3	0.83	85
	玉米 Maize	0.75	0.3	0.83	94
	谷子 Millet	0.43	0.2	0.83	85
	大豆 Beans	0.54	0.3	0.88	85
	薯类 Tubers	0.50	0.2	0.80	85
畜禽粪尿 Livestock manure	猪 Pig	0.43	0.2	1.00	20
	牛 Cattle	0.47	0.3	0.60	18
	羊 Sheep	0.53	0.3	0.60	40
	鸡 Chicken	0.64	0.3	0.60	80
	兔 Rabbit	0.64	0.3	0.60	80

牛、羊粪尿产生量(kg)=年末饲养量×日排泄系数($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$)×365(d);

猪、鸡、兔粪尿产生量(kg)=年出栏量×饲养周期(d)×日排泄系数($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$)。

(2)秸秆量的计算方法:

秸秆量=粮食作物产量×草谷比

(3)养分资源量的计算方法:

$$\text{农作物秸秆中养分资源量 } A = \sum_i^n C_i \times f_i$$

式中: i 为秸秆种类, $i=1,2,3,\dots,n$; C_i 为*i*类秸秆的资源量,t; f_i 为*i*类秸秆的有机质(氮、磷、钾)含量, $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$; A 为*i*类秸秆的有机质(氮、磷、钾)资源量,t。

$$\text{畜禽粪尿养分资源量 } S = \sum_i^n Q_i \times T_i$$

式中: i 为畜禽粪尿种类, $i=1,2,3,\dots,n$; Q_i 为*i*类畜禽粪尿的资源量,t; T_i 为*i*类畜禽粪尿的有机质(氮、磷、钾)含量, $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$; S 为*i*类畜禽粪尿的有机质(氮、磷、钾)资源量,t。

(4)能源资源量的计算方法:

$$\text{标准煤 } B = (Z_i \times R_i \times D_i) \times X_i$$

$$\text{沼气 } G = (Z_i \times R_i \times D_i) \times V_i$$

式中: i 为种养废弃物种类,即秸秆和畜禽粪尿的种类, $i=1,2,3,\dots,n$; Z_i 为*i*类种养废弃物的资源量; R_i 为*i*类种养废弃物的可回收系数; D_i 为*i*类种养废弃物的干物质比例; X_i 为*i*类种养废弃物的标准煤转化系数。 V_i 为*i*类种养废弃物的单位产沼气量, $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.3 数据处理

种养废弃物随时间变化特征及养分资源化和能源化潜力用Excel 2007分析,空间分布特征用GIS 9.3进行分析。

2 结果与分析

2.1 山西省秸秆资源总量及类型随时间变化特征

2007—2015年,山西省的秸秆资源总量从 1.27×10^7 t增至 1.54×10^7 t,呈现出波动上升的趋势(图1)。其中玉米秸秆量最大,其次为小麦、谷子、大豆,且各年份秸秆构成格局相同。玉米秸秆产量呈升高趋势,到2011年以后趋于平稳状态;谷子秸秆产量整体呈上升趋势;小麦、大豆秸秆产量多年来较为稳定(图2)。

2.2 山西省秸秆资源类型及空间分布特征

山西省作物秸秆以玉米、小麦、谷子、大豆为主,其他类作物秸秆以薯类为主。2015年四种主要的农作物秸秆产量分别达到 1.23×10^7 、 3.72×10^6 、 6.33×10^5 、 2.36×10^5 t,占秸秆总量的68.45%、20.72%、3.53%、1.31%,四者共占秸秆总量的94%以上(表4)。除山西南部的运城、临汾、晋城有数量较大的小麦秸秆外,

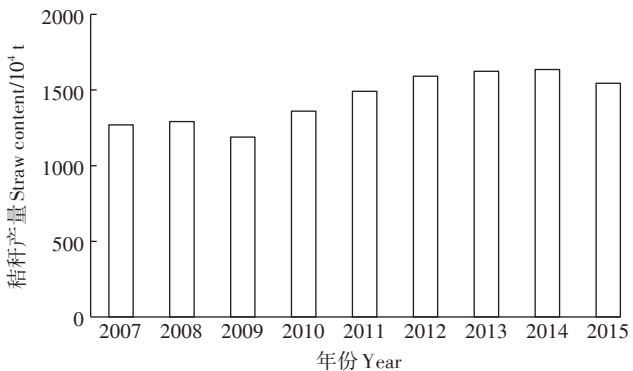


图1 山西省2007—2015年秸秆总产量变化

Figure 1 The changes of total straw contents from 2007 to 2015 in Shanxi Province

其他市均以玉米秸秆占主导。运城、临汾秸秆产量最高,在200万~400万t之间,其次是晋城、长治、晋中、忻州、朔州、大同,在100万~200万t之间,吕梁、太原、阳泉的秸秆产量相对较少,小于100万t(图3)。总体来看,山西省秸秆产量呈现由南向北逐渐降低的趋势。

2.3 山西省畜禽粪尿总量及类型随时间变化特征

2007—2015年山西省畜禽粪尿量由 1.82×10^7 t增至 2.02×10^7 t,波动中有上升的趋势(图4)。对于不同牲畜的年产粪尿量而言,2007—2015年牛的年产粪尿量下降最大,羊与猪的年产粪尿量呈波动上升的趋势,其他牲畜的年产粪尿量多年处于稳定状态(图5)。

2.4 山西省畜禽粪尿类型及空间分布特征

2015年山西省畜禽粪尿的产生量主要以牛、羊、猪为主,三者年产量分别达到 1.04×10^7 、 4.36×10^6 、 5.07×10^6 t,占畜禽粪尿总量的51.44%、21.59%、25.06%,三者共占畜禽粪尿总量的98%以上,其他产生量以鸡和兔为主,所占比例相对较小(表5)。且存在晋西北多羊、北中部多牛、晋东南多猪的分布格局。

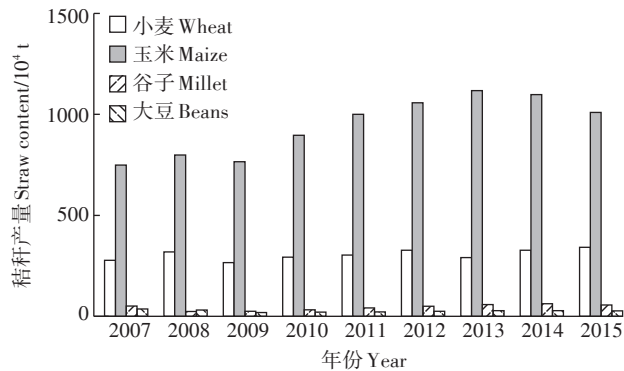


图2 山西省2007—2015年不同作物秸秆产量变化
Figure 2 The changes of different crops straw from 2007 to 2015 in Shanxi Province

表4 山西省2015年不同作物秸秆产量
Table 4 The straw production of different crops in 2015 in Shanxi Province

秸秆种类 Straw species	秸秆产量 Straw production/ 10^4 t	占秸秆总产量百分比 Percentage of total content/%
玉米 Maize	1 229.18	68.45
小麦 Wheat	372.13	20.72
谷子 Millet	63.31	3.53
大豆 Beans	23.60	1.31
其他 Others	107.59	5.99
总计 Total	1 795.81	100

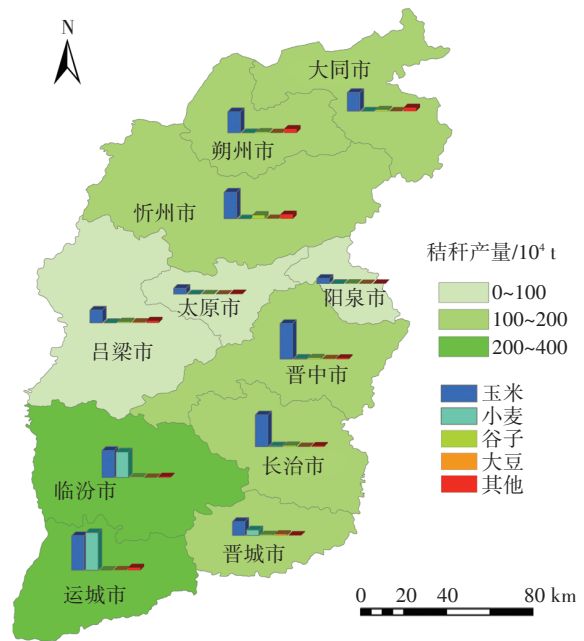


图3 山西省2015年各市秸秆资源空间分布
Figure 3 Distribution characteristics of crops straw in different cities of Shanxi Province in 2015

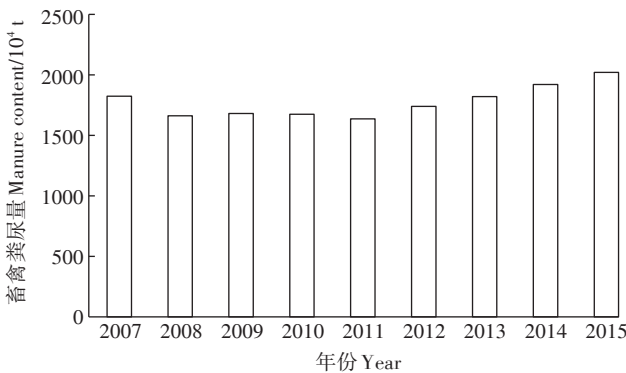


图4 山西省2007—2015年畜禽年产粪尿总量
Figure 4 The total livestock manure production each year from 2007 to 2015 in Shanxi Province

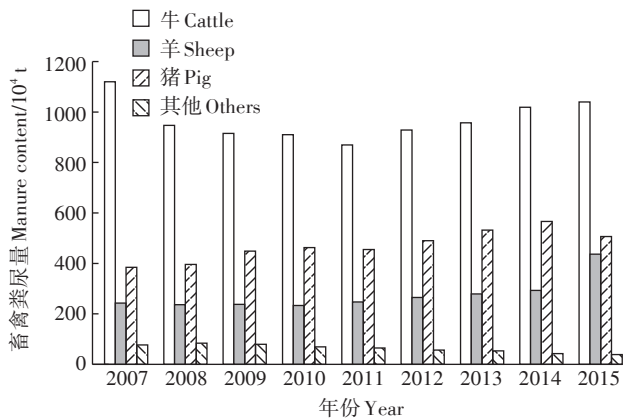


图5 山西省2007—2015年不同畜禽年产粪尿量
Figure 5 The manure production of different livestock each year from 2007 to 2015 in Shanxi Province

大同、朔州、忻州畜禽粪尿的总产量较高,在 250 万~300 万 t 之间,其次为吕梁、晋中、临汾,畜禽粪尿产量在 100 万~250 万 t 之间,太原、阳泉、长治、运城、晋城畜禽粪尿产生量较小,小于 100 万 t(图 6)。总体来看,山西省畜禽粪尿产生量呈现由西北向东南方向逐渐降低的趋势,北部、西北部产生量较高,南部、东南部的产生量较少。

2.5 农作物秸秆和畜禽粪尿养分化潜力

山西省 2015 年种养废弃物中共含有机质、N、P、K 分别 1.54×10^7 、 1.25×10^5 、 5.28×10^4 、 1.04×10^5 t。其中,运城的有机质、N、P、K 含量相对较高,分别达 2.80×10^6 、 1.64×10^4 、 4.4×10^3 、 2.17×10^4 t。其次为临汾、晋中、忻州、长治、朔州、大同,阳泉、太原、吕梁、晋城

农作物秸秆养分资源量相对较少,其中阳泉市所含养分资源量最低,有机质、N、P、K 含量分别为 238 900、1600、600、1400 t(表 6)。

2.6 农作物秸秆和畜禽粪尿能源化潜力

山西省 2015 年种养废弃物能源化潜力巨大,折算后可转化为标准煤 1.05×10^7 t、沼气 4.59×10^9 m³。其中,运城市种养废弃物转化为能源资源的能力最大,若全部转化为标准煤可得 1.88×10^6 t,若全部转化为沼气可得 9.01×10^8 m³;其次为临汾、晋中、忻州、长治,阳泉、太原、晋城、大同、朔州种养废弃物转化为能源资源的潜力较小,其中阳泉市潜力最小,可转化为标准煤 1.80×10^5 t,转化为沼气 7.36×10^7 m³(表 7)。

表 5 山西省 2015 年不同畜禽粪尿产生量
Table 5 The manure production of different livestock in 2015
in Shanxi Province

牲畜 Livestock	粪尿产量 Total manure/10 ⁴ t	占粪尿总产生量百分比 Percentage of total manure/%
牛 Cattle	1 040.00	51.44
羊 Sheep	436.48	21.59
猪 Pig	506.71	25.06
其他 Others	38.60	1.91
总计 Total	2 021.79	100

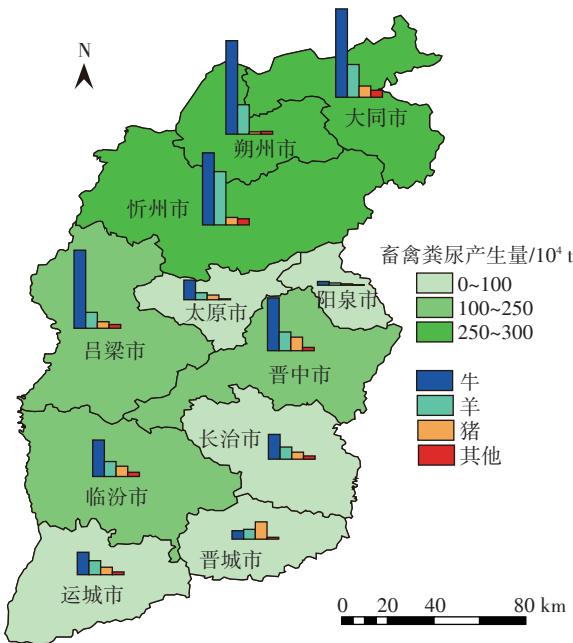


图 6 山西省 2015 年各市畜禽粪尿资源空间分布
Figure 6 Spatial distribution characteristics of livestock manure
in different cities of Shanxi Province in 2015

表 6 不同地区种养废弃物养分资源量(10⁴ t)
Table 6 The nutrient resource content of waste from planting and
breeding in different cities(10⁴ t)

城市 Cities	有机质 Organic matter	N	P	K
太原 Taiyuan	37.39	0.37	0.19	0.24
大同 Datong	136.27	1.44	0.75	0.85
阳泉 Yangquan	23.89	0.16	0.06	0.14
长治 Changzhi	148.37	0.99	0.35	0.89
晋城 Jincheng	98.74	0.82	0.36	0.75
朔州 Shuozhou	137.58	1.33	0.65	0.79
晋中 Jinzhong	182.41	1.42	0.61	1.12
运城 Yuncheng	279.89	1.64	0.44	2.17
忻州 Xinzhou	179.16	1.70	0.78	1.10
临汾 Linfen	221.06	1.48	0.49	1.69
吕梁 Lvliang	99.59	1.09	0.59	0.63
总计 Total	1 544.33	12.46	5.28	10.37

表 7 不同地区种养废弃物能源资源量
Table 7 The energy resources content of waste from planting and
breeding in different cities

城市 Cities	标准煤 Standard coal/10 ⁴ t	沼气 Biogas/10 ⁴ m ³
太原 Taiyuan	23.60	10 379.83
大同 Datong	87.41	36 404.10
阳泉 Yangquan	18.01	7 356.37
长治 Changzhi	112.90	46 207.71
晋城 Jincheng	66.57	29 894.86
朔州 Shuozhou	91.69	37 744.37
晋中 Jinzhong	133.74	54 959.26
运城 Yuncheng	188.37	90 096.45
忻州 Xinzhou	117.24	49 531.27
临汾 Linfen	147.83	69 424.12
吕梁 Lvliang	64.16	26 680.04
总计 Total	1 051.49	458 670.03

2.7 山西省秸秆和畜禽粪尿利用现状调查与分析

以晋中市寿阳县为主要调研对象,分析秸秆和畜禽粪尿的利用现状,对寿阳县宗艾镇、平舒乡、马首乡、景尚乡、尹灵芝镇的畜牧局、农业局、养殖场、种植专业合作社、农户进行实地调研,了解寿阳县种养废弃物的综合利用方式及现状。寿阳县作物播种面积常年稳定在 $4.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 左右,2016年粮食产量约 $3.54 \times 10^8 \text{ kg}$,秸秆产量近 $5.0 \times 10^8 \text{ kg}$;养殖牛851头、羊 9.57×10^4 只,出栏猪 3.89×10^4 头,马驴骡共122匹,鸡鸭共 6.21×10^5 只,畜禽粪尿产量达 $6.95 \times 10^4 \text{ t}$ 。

寿阳县除了地形破碎的地区以外,秸秆基本实现综合利用,利用率已达70%,露天秸秆焚烧现象较为少见,畜禽粪尿的无害化处理及利用方式基本合理,主要用于粉碎直接还田和打捆销售。其中:45.50%使用大型秸秆粉碎机将秸秆粉碎翻耕入土;13.65%打捆收集,经去土、筛选、加工、打包后作为饲料进行销售;10.85%粉碎后加压、增密成型、作为生物质燃料进行综合利用;30.00%依托山西鑫世泰绿色能源有限公司秸秆发电厂,将秸秆进行打捆、按照重量销售。对畜禽粪尿最主要的处理方式是直接作为肥料在田间消化,其中:78.6%作为肥料直接施入耕地;12.2%卖给有机肥企业生产商品有机肥;9.2%通过大型沼气工程进行猪粪尿无害化处理。

3 讨论

3.1 山西省秸秆资源结构及时空分布特征

山西省农作物秸秆资源种类多且数量巨大,以玉米、小麦、谷子、大豆为主。2015年四种主要的农作物秸秆产量分别达到 1.23×10^7 、 3.72×10^6 、 6.33×10^5 、 $2.36 \times 10^5 \text{ t}$,占秸秆总量的68.45%、20.72%、3.53%、1.31%,四者共占秸秆总量的94%以上,除山西南部的运城、临汾、晋城有数量较大的小麦秸秆外,其他市均以玉米秸秆占主导。这与康宇等^[24]的研究结果一致,主要是因为近几年山西省的种植结构变化不大。

2007—2015年山西省秸秆资源量呈现上升趋势,这与杨海蓉等^[21]的研究结果相一致。从分布情况来看,秸秆资源产量由南向北呈逐渐降低的趋势,其中太原和阳泉由于城市功能分区不同,第一产业发展较少,秸秆资源产量相对较低。

3.2 山西省畜禽粪尿资源结构及时空分布特征

山西省养殖业十分发达,畜禽粪尿资源种类多且数量较大。2015年山西省畜禽粪尿的产生量主要以牛、羊、猪为主,三者年产粪尿总量分别达到 1.04×10^7 、

4.36×10^6 、 $5.07 \times 10^6 \text{ t}$,占畜禽粪尿总量的51.44%、21.59%、25.06%,三者共占畜禽粪尿总量的98%以上,且存在晋西北多羊、北中部多牛、晋东南以猪为主的分布格局,这与卢香玲等^[25]的研究结果相一致。

2007—2015年山西省畜禽粪尿资源总量呈波动上升的趋势。其中由于人们生活方式的改变,牛的数量减少,猪、羊的数量增加,这与张建杰等^[22]的研究结果相一致。从分布情况来看,畜禽粪尿总量由西北向东南方向呈现降低的趋势,北部、西北部畜禽粪尿产生量较高,南部、东南部的畜禽粪尿产生量较少,这主要与当地的气候条件有关,北部、西北部降水量较少,无霜期短,更适于养殖业的发展。

3.3 山西省种养废弃物肥料化及资源化潜力

山西省种养废弃物资源化利用潜力巨大。如将2015年 $3.57 \times 10^7 \text{ t}$ 的种养废弃物完全实现肥料化,理论上可提供有机质、N、P、K分别为 1.54×10^7 、 1.25×10^5 、 5.28×10^4 、 $1.04 \times 10^5 \text{ t}$;如果将其完全实现资源化利用,相当于 $1.05 \times 10^7 \text{ t}$ 标准煤或 $4.59 \times 10^9 \text{ m}^3$ 沼气。实现种养废弃物的资源化可以促进山西省煤炭产业可持续利用,这与贡俊等^[26]的研究结果相一致。

4 结论与建议

(1)山西省种养废弃物资源种类多、数量大,地域性差异大,资源化利用的空间较大。对种养废弃物的综合利用,以政府单向引导为主,在政府大量财力和人力的补贴下,部分地区秸秆的综合利用率已有较大幅度的提高。

(2)农户对于种养废弃物的综合利用主观意识不够强,农业合作社因周转资金较大,维持困难。企业与农户之间缺少联系,不能有效发挥企业在市场中的主观能动作用。

(3)为实现种养废弃物资源的多途径、全面高效利用,应大力研发成本低、见效快的种养废弃物饲料化和原料化技术,大力扶持和发展秸秆综合利用企业,统筹布局,形成长效机制。

(4)制定优惠政策引导多途径的种养废弃物利用,通过宣传教育,增加农民对种养废弃物利用的自觉性。力争通过肥料化、资源化、饲料化以及其他途径实现对种养废弃物的高效利用,为农村环境综合治理和美丽乡村建设奠定良好基础。

参考文献:

- [1] 钟华平, 岳燕珍, 樊江文, 等. 中国作物秸秆资源及其利用[J]. 资源

- 科学, 2003, 25(4):62-67.
- ZHONG Hua-ping, YUE Yan-zhen, FAN Jiang-wen, et al. Characteristics of crop straw resources in China and its utilization[J]. *Resource Science*, 2003, 25(4):62-67.
- [2] 毕于运, 王亚静, 高春雨, 等. 中国主要秸秆资源数量及其区域分布[J]. 农机化研究, 2010, 32(3):1-7.
- BI Yu-yun, WANG Ya-jing, GAO Chun-yu, et al. The number and regional distribution of main straw in China[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2010, 32(3):1-7.
- [3] 朱开伟, 刘 贞, 欧训民, 等. 基于土壤功能的中国主要农作物可能源化秸秆生态潜力分析[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(2):276-286.
- ZHU Kai-wei, LIU Zhen, OU Xun-min, et al. Evaluation of energy-oriented utilization potential of main Chinese crop residues based on soil protection functions[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(2):276-286.
- [4] 姚宗路, 赵立欣, 田宜水, 等. 黑龙江省农作物秸秆资源利用现状及中长期展望[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11):288-292.
- YAO Zong-lu, ZHAO Li-xin, TIAN Yi-shui, et al. Utilization status and medium and long-term forecast of crop straw resource in Heilongjiang Province[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(11):288-292.
- [5] 闫丽珍, 成升魁, 闵庆文, 等. 安徽省蒙城县作物秸秆资源利用现状及其影响因素分析[J]. 干旱区农业研究, 2006, 24(3):160-163.
- YAN Li-zhen, CHENG Sheng-kui, MIN Qing-wen, et al. Utilization of crop straws and its influencing factors in Mengcheng County of Anhui Province[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(3):160-163.
- [6] 闫丽珍, 成升魁, 闵庆文. 典型农区秸秆资源利用及其影响因素探析[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(3):196-198.
- YAN Li-zhen, CHENG Sheng-kui, MIN Qing-wen. Utilization of crop straws and its driving forces in typical rural areas[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(3):196-198.
- [7] 宣 梦, 许振成, 吴根义, 等. 我国规模化畜禽养殖粪污资源化利用分析[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(2):126-132.
- XUAN Meng, XU Zhen-cheng, WU Gen-yi, et al. Analysis of utilization of fecal resources in large-scale livestock and poultry breeding in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(2):126-132.
- [8] 田宜水. 中国规模化养殖场畜禽粪尿资源沼气生产潜力评价[J]. 农业工程学报, 2012, 28(8):230-234.
- TIAN Yi-shui. Potential assessment on biogas production by using livestock manure of large-scale farm in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(8):230-234.
- [9] 渠清博, 杨 鹏, 翟中藏, 等. 规模化奶牛场泌乳牛粪便氮磷含量预测模型研究[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(3):234-241.
- QU Qing-bo, YANG Peng, ZHAI Zhong-wei, et al. Prediction of fecal nitrogen and fecal phosphorus content for lactating dairy cows in large-scale dairy farms[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2017, 34(3):234-241.
- [10] 武深树, 谭美英, 黄 璜, 等. 湖南洞庭湖区农地畜禽粪尿承载力估算及其风险评价[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(6):1245-1251.
- WU Shen-shu, TAN Mei-ying, HUANG Huang, et al. Loading capacity estimation and risk assessment of livestock manure in cultivated lands around Dongting Lake[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(6):1245-1251.
- [11] 仇焕广, 莫海霞, 白军飞, 等. 中国农村畜禽粪尿处理方式及其影响因素[J]. 中国农村经济, 2012(3):78-87.
- QIU Huan-guang, MO Hai-xia, BAI Jun-fei, et al. China's rural treatment of animal manure and its influencing factors[J]. *Chinese Rural Economy*, 2012(3):78-87.
- [12] 冯淑怡, 罗小娟, 张丽军, 等. 养殖企业畜禽粪尿处理方式选择、影响因素与适用政策工具分析[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2013(1):12-18.
- FENG Shu-yi, LUO Xiao-juan, ZHANG Li-jun, et al. Livestock enterprises choice of waste treatment modes, its influencing factors and possible policy instruments[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2013(1):12-18.
- [13] 杜艳萍. 山西省农作物秸秆资源化利用现状及发展对策[J]. 农业环境与发展, 2013, 30(3):38-41.
- DU Yan-ping. The utilization status and development countermeasures of crop straw resource utilization in Shanxi Province[J]. *Agro-Environment and Development*, 2013, 30(3):38-41.
- [14] 马 林, 王方浩, 刘 东, 等. 河北省畜禽粪尿养分资源分布及其污染潜力分析[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(6):99-103.
- MA Lin, WANG Fang-hao, LIU Dong, et al. Assessment of the production of animal manure and its pollution potential in Hebei Province[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2006, 29(6):99-103.
- [15] 王晓燕, 汪清平. 北京市密云县耕地畜禽粪尿负荷估算及风险评价[J]. 农村生态环境, 2005, 21(1):30-34.
- WANG Xiao-yan, WANG Qing-ping. Livestock manure load of farmland in Miyun County and its environmental risk assessment[J]. *Rural Eco-Environment*, 2005, 21(1):30-34.
- [16] 仇焕广, 廖绍攀, 井 月, 等. 我国畜禽粪尿污染的区域差异与发展趋势分析[J]. 环境科学, 2013, 34(7):2766-2774.
- QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, et al. Regional differences and development tendency of livestock manure pollution in China[J]. *Environmental Science*, 2013, 34(7):2766-2774.
- [17] 武深树, 谭美英, 刘 伟. 沼气工程对畜禽粪尿污染环境成本的控制效果[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(2):247-252.
- WU Shen-shu, TAN Mei-ying, LIU Wei. Environmental cost control of livestock and poultry fecal pollution via biogas project[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(2):247-252.
- [18] 李 远, 单正军, 徐德徽. 我国畜禽养殖业的环境影响与管理政策初探[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(2):136-138.
- LI Yuan, SHAN Zheng-jun, XU De-hui. Preliminary studies of management or livestock pollution in China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2002, 10(2):136-138.
- [19] 杨海蓉. 山西省农作物秸秆资源及利用现状研究[D]. 太原: 山西大学, 2016.
- YANG Hai-rong. Study on the its utilization status of crop straw re-

- sources in Shanxi[D]. Taiyuan:Shanxi University, 2016.
- [20] 黄河新闻网. 山西畜牧产业规模化达58% 高出全国11个百分点[EB/OL]. (2015-10-26). http://sx.sxgov.cn/content/2015-10/26/content_6395501.htm.
- SXGOV News. The intensification of livestock industry reached 58% in Shanxi Province[EB/OL]. (2015-10-26). http://sx.sxgov.cn/content/2015-10/26/content_6395501.htm.
- [21] 杨海蓉, 周怀平, 解文艳, 等. 山西省农作物秸秆资源量及时空分布特征[J]. 山西农业科学, 2015, 43(11):1458-1463.
- YANG Hai-rong, ZHOU Huai-ping, XIE Wen-yan, et al. Crop straw resources and the space-time distribution characteristics in Shanxi Province[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2015, 43(11):1458-1463.
- [22] 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[J]. 应用生态学报, 2016, 27(1):207-214.
- ZHANG Jian-jie, GUO Cai-xia, QIN Wei, et al. Temporal and spatial variability of livestock and poultry productions and manure nutrients in Shanxi Province, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(1):207-214.
- [23] 曾锐. 成都市种养废弃物资源量调查及利用途径[D]. 成都:四川农业大学, 2013.
- ZENG Rui. Investigation on planting and breeding wastes amount and its utilization ways in Chengdu City[D]. Chengdu:Sichuan Agriculture University, 2013.
- [24] 康宇, 王瑞, 徐云文. 山西省秸秆资源对可持续农业建设的作用[J]. 山西农业科学, 2007(7):19-23.
- KANG Yu, WANG Rui, XU Yun-wen. Role of straw in sustainable agriculture of Shanxi Province[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2007(7):19-23.
- [25] 卢香玲, 王效京, 负红梅, 等. 山西省养殖业面源污染综合防治情况及对策[J]. 山西农业, 2007, 13(8):30-31.
- LU Xiang-ling, WANG Xiao-jing, YUN Hong-mei, et al. Comprehensive prevention and control of pollution and countermeasures in Shanxi breeding industry[J]. *Shanxi Agriculture*, 2007, 13(8):30-31.
- [26] 贡俊, 李晓丽. 山西省农业废弃物资源化利用研究[J]. 经济师, 2017(4):24-26.
- GONG Jun, LI Xiao-li. Research on the utilization of agricultural waste in Shanxi Province[J]. *China Economist*, 2017(4):24-26.