

姜凯阳,王丽霞,庞力豪,等. 2008—2017 年江苏省秸秆沼气化潜力及其碳足迹分析[J]. 江苏农业科学,2020,48(7):290–295.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2020.07.056

2008—2017 年江苏省秸秆沼气化潜力及其碳足迹分析

姜凯阳,王丽霞,庞力豪,张羽飞,邵 蕾

(中国农业大学烟台研究院,山东烟台 264670)

摘要:利用秸秆系数(RF)法分析江苏省 2008—2017 年秸秆沼气产生情况,并通过比较秸秆直接燃烧和秸秆沼气化利用的碳排放,揭示秸秆沼气化利用的节能以及碳减排效果,以期为江苏省推进农作物秸秆沼气化利用,减少燃煤消费提供依据。研究结果表明,2008—2017 年江苏省年均秸秆资源总量为 3 264.43 万 t,沼气潜力为 113.46 亿 m³;江苏省目前用于直接燃烧的秸秆每年产生碳排放量为 731.54 万 t,若用于直接燃烧的秸秆全部沼气化利用,其年均碳减排量为 359.10 万 t,平均每年可替代标准煤 13.37 亿 kg,机会碳足迹年均均为 718.15 万 t,可以达到减少温室气体排放并替代燃煤消费的目的。

关键词:江苏省;秸秆;沼气化;碳足迹;碳排放量

中图分类号: F323.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2020)07–0290–06

江苏省作为我国的农业大省,2017 年水稻和小麦播种面积分别达到 22.38 万、24.13 万 hm²^[1]。大面积的水稻、小麦等主要农作物种植给江苏省带来大量的秸秆资源。《江苏省人民代表大会常务委员会关于促进农作物秸秆综合利用的决定》^[2]第 5 条明确规定“鼓励利用秸秆生物气化(沼气)、热解气化、固化成型及炭化等技术发展生物质能,合理安排利用秸秆发电项目”。中共中央、国务院印发的《乡村振兴战略规划(2018—2022 年)》^[3],也提出“推进农林产品加工剩余物资源化利用,深入实施秸秆禁烧制度和综合利用”的相关政策。陈利洪等对华东地区农业废弃物资源潜力进行评估,得出华东地区秸秆资源量占全国总量的 18.6%,秸秆沼气开发潜力为 125.2 亿 m³^[4]。秸秆作为洁净的生物质能源,秸秆沼气化亟待在农村进行进一步推广。任继勤等利用集成经验模态分解(EEMD)和 BP 神经网络(BPNN)预测我国秸秆产量并分析在秸秆综合利用率达到 80% 时,可节约 3 000 万 t 煤并减少 6.15 亿 t CO₂ 排放^[5]。

近年来,气候变化及大气污染问题广受关注,随着温室气体如甲烷(CH₄)、二氧化碳(CO₂)、氧化亚氮(N₂O)等的大量排放,温室气体减排成为众多学者的研究对象。碳足迹作为定量评估温室气体排放量的标准,其相关研究受到许多学者的高度重视。张婷婷等对我国 2011 年秸秆沼气碳足迹变化进行分析,若将焚烧和弃置乱用的秸秆进行沼气发酵,将产生的沼气直接燃烧,可减少 3.5 亿 t CO₂ 排放^[6];王艺鹏等对我国 1995—2014 年秸秆沼气化碳足迹分析中得出,秸秆沼气燃烧年均可减少 2.08 亿 t CO₂ 排放^[7]。因此农作物秸秆沼气化利用可以提高农业废弃物资源的利用率,有效减少温室气体的排放。

本研究通过分析江苏省 2008—2017 年主要农作物秸秆资源量及其沼气化潜力,利用碳足迹计算的方法比较秸秆沼气化利用和直接燃烧所产生的碳减排和节能效果,以期为江苏省加强秸秆沼气化利用,建设资源节约型、环境友好型社会提供依据。

1 数据来源与计算方法

1.1 数据来源

本研究根据江苏省农作物种植结构选择种植面积比例和产量占比具有优势的 9 种作物(粮食作物:水稻、小麦、玉米、马铃薯、大豆;经济作物:棉花、甘蔗、花生、油菜)作为秸秆资源量统计的研究对象。农作物种植数据来源于《江苏省统计年鉴》中 2009—2018 年农作物种植面积和经济产量的

收稿日期:2019–03–14

基金项目:山东省烟台市重点研发计划(编号:2017ZH097);山东省重点研发计划(编号:2018GNC110021);2016 烟台开发区创新创业领军团队项目(编号:TD2016003)。

作者简介:姜凯阳(1998—),男,山东济南人,主要从事土壤肥料方面的研究。E-mail:1441754965@qq.com。

通信作者:邵 蕾,博士,副教授,主要从事土壤化学与植物营养方面的研究。E-mail:shaolei6751@163.com。

数据^[1]。

1.2 江苏省主要农作物秸秆资源量计算

利用传统的草谷比法计算的秸秆量为秸秆产生的总量,没有考虑在秸秆收集过程中产生的损耗。王雨辰等在对江苏省秸秆资源量进行估算时,引入可收集系数的概念,即可收集利用的秸秆质量占农作物田间秸秆总产量的比值^[8]。因此,不同农作物的秸秆资源量 F_i 计算应在原有公式基础上在乘以相应的农作物秸秆收集系数 Z_i , 计算公式如下:

$$F_i = R_i \times Y_i \times Z_i。$$

式中: F_i 为第 i 类农作物的秸秆资源量,kg; R_i 为第 i 类农作物的秸秆系数; Y_i 为第 i 类农作物的经济产量,kg; Z_i 为第 i 类农作物的秸秆收集系数。

江苏省主要农作物草谷比及秸秆收集系数参考冯蕾对江苏省秸秆资源的研究^[9](表 1)。

表 1 江苏省主要农作物草谷比及秸秆收集系数

作物种类	草谷比	秸秆收集系数
水稻	1.07	0.870
小麦	1.08	0.730
玉米	1.37	0.970
豆类	1.42	0.774
马铃薯	0.77	0.740
棉花	2.09	0.887
花生	1.03	0.860
油菜	2.40	0.797
甘蔗	0.43	0.917

1.3 江苏省秸秆沼气化潜力计算

秸秆沼气化潜力(W)是指在 35 ~ 37 °C 条件下一定质量农作物秸秆发酵产生的沼气体积(单位为 m^3)^[10], 计算公式如下:

$$W = F_i \times d_i \times r_i。$$

式中: d_i 为第 i 类农作物秸秆的干物质率; r_i 为第 i 类农作物秸秆的沼气转化系数, m^3/kg 。各类农作物干物质率及沼气转化系数参考王艺鹏等的研究^[7](表 2)。

1.4 碳足迹计算

碳足迹指某一产品或服务系统在其全生命周期内以 CO_2 等价物来表示的碳排放总量^[11]。碳足迹的核算具有多种标准,根据白伟荣等对碳足迹核算国际标准的整理^[12],采用联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)排放因子法进行碳足迹计算。本研究以秸秆直接燃烧和秸秆沼气燃烧产生的 CO_2

表 2 不同种类农作物干物质率及沼气转化系数

作物种类	沼气转化系数 (m^3/kg)	干物质率
水稻	0.40	0.80
小麦	0.45	0.85
玉米	0.50	0.85
豆类	0.40	0.80
马铃薯	0.40	0.80
棉花	0.60	0.80
花生	0.40	0.80
油菜	0.40	0.80

量对秸秆不同利用形式下的碳足迹进行比较,根据闫丰等的研究^[13],碳足迹的计算公式如下:

$$C_i = \sum_i^n \alpha_i \cdot A_i \cdot \beta \times 44/12。$$

式中: C_i 为第 i 类能源利用时产生的碳足迹,t/年; α_i 为第 i 种能源利用的热值折算为标准煤的折煤系数; A_i 为第 i 类能源的利用量,t/年; β 为 1 t 标准煤燃烧时产生的碳排放量,取值为 0.732 6 t;44/12 为二氧化碳和碳原子相对分子质量与相对原子质量的比值。

1.4.1 标准煤直接燃烧碳足迹

$$C = M_s \times \beta \times 44/12。$$

式中: C 为标准煤直接燃烧的碳足迹; M_s 为直接燃烧的标准煤质量,t。

1.4.2 秸秆直接燃烧的碳足迹 通过计算秸秆直接燃烧的碳足迹可以得到秸秆作为燃料直接燃烧所产生的碳排放,公式如下:

$$E_i = Q_i \times M_i \times \beta \times 44/12。$$

式中: E_i 为第 i 类农作物秸秆直接燃烧产生的碳足迹,t; Q_i 为第 i 种农作物秸秆转换为标准煤的折煤系数; M_i 为第 i 类农作物秸秆用于直接燃烧的质量,t。各类农作物秸秆转换为标准煤的折煤系数见表 3。

1.4.3 沼气燃烧碳足迹 沼气燃烧的碳足迹由沼气直接燃烧的碳足迹和沼气运输过程中产生的碳足迹组成,其中沼气运输过程中产生的碳足迹(Z)计算方法参考张婷婷等的研究^[6,13],公式如下:

$$Z = P \times t \times a。$$

式中: P 为风机的功率,kW; t 为风机运行时间,h; a 为区域电网基准线排放因子,t/MWh;华东地区电网基准线排放因子见表 4。

沼气含有多种成分,其主要成分为甲烷和二氧化碳,其中甲烷含量为 60% ~ 70%,二氧化碳含量为

表 3 不同种类农作物秸秆折煤系数

作物种类	秸秆折标准煤系数
水稻	0.462
小麦	0.545
玉米	0.535
豆类	0.651
马铃薯	0.432
棉花	0.624
花生	0.541
油菜	0.610
甘蔗	0.494

表 4 2008—2017 年华东地区电网基准线排放因子

年份	华东地区电网基准线排放因子 (t/MWh)
2008	0.954 0
2009	0.882 5
2010	0.859 2
2011	0.836 7
2012	0.824 4
2013	0.810 0
2014	0.809 5
2015	0.811 2
2016	0.808 6
2017	0.804 6

注:华东地区电网基准线排放因子来源于中华人民共和国生态环境部统计的中国区域电网基准线排放因子。

30%~40%;此外还含有少量的氧气、氮气、氢气及硫化氢等气体。根据张婷婷等的研究^[6],笔者主要研究甲烷和二氧化碳 2 种温室气体,按照 CH₄ 含量

为 60%,CO₂ 含量为 40% 进行计算,忽略其他气体的影响。秸秆沼气燃烧的公式如下:

$$S=\frac{Qp_1+Qp_2}{22.4}\times 44。$$

式中:S 为秸秆沼气燃烧的碳足迹,kg;Q 为沼气体积,m³;p₁ 为沼气中 CH₄ 含量,按照 60% 取值;p₂ 为沼气中 CO₂ 含量,按照 40% 取值;44 为 CO₂ 分子量。

2 结果与分析

2.1 2008—2017 年江苏省秸秆资源量

由表 5 可知,2008—2017 年江苏省秸秆资源量总量为 32 644.31 万 t,年均秸秆量为 3 264.43 万 t。粮食作物的秸秆资源量年均为 2 987.59 万 t,占年均秸秆资源总量的 91.51%;秸秆资源量最高的 3 种作物为水稻、小麦和玉米;年均秸秆资源量分别为 1 749.16 万、852.17 万、307.10 万 t,分别占年均秸秆资源总量的 53.58%、26.1%、9.41%。经济作物中,油菜秸秆资源量最高,为 205.27 万 t,占年均秸秆资源总量的 6.29%;棉花秸秆资源量为 35.59 万 t,占年均秸秆资源总量的 1.09%;甘蔗秸秆资源量最少,为 3.82 万 t,占年均秸秆资源总量的 0.12%。因此,江苏省农作物秸秆资源总量中,粮食类作物的秸秆占主导地位,其中水稻由于种植面积广,秸秆资源量最大。2008—2015 年江苏省秸秆资源量呈上升趋势,2015 年江苏省秸秆资源总量为 3 410.03 万 t,2016 年、2017 年秸秆资源量与 2015 年相比有所下降。

表 5 2008—2017 年江苏省主要农作物秸秆资源总量

年份	粮食作物秸秆资源量(万 t)					经济作物秸秆资源量(万 t)				总计 (万 t)
	水稻	小麦	玉米	豆类	马铃薯	棉花	花生	油菜	甘蔗	
2008	1 649.46	786.99	269.70	66.20	23.76	60.43	31.51	215.78	3.45	3 107.27
2009	1 678.31	791.89	287.26	66.91	24.16	47.36	34.25	232.77	4.59	3 167.52
2010	1 682.94	794.79	290.34	65.76	22.49	48.35	33.39	215.08	4.01	3 157.15
2011	1 735.35	806.65	300.56	63.32	21.99	45.75	32.77	201.31	3.79	3 211.48
2012	1 768.77	826.84	305.91	60.79	22.40	40.86	31.91	208.74	3.83	3 270.05
2013	1 789.43	868.27	287.61	51.68	21.53	38.80	31.25	216.65	3.76	3 308.99
2014	1 779.88	914.86	317.57	52.03	19.31	29.58	30.85	210.51	3.98	3 358.58
2015	1 817.57	925.62	335.12	53.09	18.76	21.67	31.06	203.40	3.73	3 410.03
2016	1 797.93	882.65	310.87	51.78	18.69	13.69	32.51	179.04	3.55	3 290.72
2017	1 791.90	923.15	366.09	50.55	16.38	9.45	32.09	169.42	3.51	3 362.52
平均值	1 749.16	852.17	307.10	58.21	20.95	35.59	32.16	205.27	3.82	3 264.43
占比(%)	53.58	26.10	9.41	1.78	0.64	1.09	0.99	6.29	0.12	100.00

2.2 江苏省秸秆沼气化潜力

本研究选取水稻、小麦、玉米、豆类、马铃薯等 5 种粮食作物及棉花、花生、油菜等 3 种经济作物分析秸秆沼气化潜力。由表 6 可以看出,2008—2017 年江苏省的秸秆沼气化潜力平均为 113.46 亿 m³,

2008—2015 年,江苏省秸秆沼气化潜力呈增加趋势,其中 2015 年秸秆沼气化潜力最大,为 118.65 亿 m³,2016 年、2017 年秸秆沼气化潜力下降,但仍高于平均水平。

表 6 2008—2017 年江苏省主要农作物秸秆沼气化潜力

年份	粮食作物秸秆沼气化潜力(亿 m ³)					经济作物秸秆沼气化潜力(亿 m ³)			总计 (亿 m ³)	折标准煤 (亿 kg)
	水稻	小麦	玉米	豆类	马铃薯	棉花	花生	油菜		
2008	52.78	30.10	11.46	2.12	0.76	2.90	1.01	6.90	108.04	77.14
2009	53.71	30.29	12.21	2.14	0.77	2.27	1.10	7.45	109.94	78.50
2010	53.85	30.40	12.34	2.10	0.72	2.32	1.07	6.88	109.69	78.32
2011	55.53	30.85	12.77	2.03	0.70	2.20	1.05	6.44	111.58	79.66
2012	56.60	31.63	13.00	1.95	0.72	1.96	1.02	6.68	113.55	81.08
2013	57.26	33.21	12.22	1.65	0.69	1.86	1.00	6.93	114.83	81.99
2014	56.96	34.99	13.50	1.67	0.62	1.42	0.99	6.74	116.87	83.45
2015	58.16	35.40	14.24	1.70	0.60	1.04	0.99	6.51	118.65	84.72
2016	57.53	33.76	13.21	1.66	0.60	0.66	1.04	5.73	114.19	81.53
2017	57.34	35.31	15.56	1.62	0.52	0.45	1.03	5.42	117.25	83.72
平均值	55.97	32.60	13.05	1.86	0.67	1.71	1.03	6.57	113.46	81.01

1 m³ 沼气完全燃烧后提供的热量相当于 0.714 kg 标准煤^[14],江苏省 10 年秸秆沼气化利用总共可折合标准煤 8 101 万 t;根据《江苏省统计年鉴 2018》计算 2017 年能源消费总量折合标准煤共 31 430.41 万 t,则 2017 年秸秆沼气化利用理论上可节约全省 2.66% 的标准煤消费。

2.3 碳足迹分析

根据高利伟等的研究,江苏省秸秆资源的主要利用方式为用作畜禽饲料、机械还田、用作燃料及其他用途^[15]。根据江苏省人民政府印发的《江苏省农作物秸秆综合利用规划(2010—2015 年)》^[16]取江苏省秸秆综合利用比例的平均值(表 7)。

表 7 江苏省秸秆综合利用比例

利用方式	具体利用方式	利用比例(%)
肥料化	直接还田	22.5
	商品有机肥	0.5
能源化	直接燃烧	16.5
	沼气化利用	3.5
工业原料化		8.0
饲料化		5.0
基料化		3.0

由表 7 可知,江苏省秸秆沼气化利用比例仅占秸秆总量的 3.5%,沼气化利用潜力巨大。

为了研究沼气化利用方式的碳减排效应,本研究在分析碳足迹时将秸秆能源化利用中用来直接

燃烧的秸秆采用沼气化处理,计算其沼气化潜力、可替代的标准煤和所替代标准煤的碳足迹;其中沼气化利用可替代的标准煤为直接燃烧的秸秆沼气化利用后所产沼气的热值折算的标准煤,所替代标准煤的碳足迹为标准煤燃烧的碳排放。

由表 8 可知,江苏省平均每年有 538.63 万 t 秸秆直接燃烧,其中 2015 年直接燃烧秸秆量最大,为 562.65 万 t;《江苏省煤炭消费减量替代工作方案》^[17]中提出鼓励发展生物质能代替燃煤消费的政策。如果将直接燃烧的秸秆采用沼气化利用,可替代 13.37 亿 kg/年标准煤,减少标准煤燃烧排放的二氧化碳达 359.05 万 t/年。

碳足迹是衡量碳排放的指标。秸秆直接燃烧碳足迹表示秸秆直接燃烧的碳排放;直接燃烧的秸秆沼气利用总碳足迹为直接燃烧的秸秆进行沼气燃烧碳足迹和沼气运输碳足迹之和。

由表 9 可知,江苏省 2008—2017 年秸秆直接燃烧产生的碳足迹总量为 7 315.39 万 t;若这些直接燃烧的秸秆进行沼气化利用,产生的总碳足迹为 3 724.43 万 t,其中,沼气运输过程中产生的碳足迹为 47.12 万 t,沼气燃烧产生的碳足迹为 3 677.31 万 t;2015 年直接燃烧的秸秆沼气燃烧碳足迹最高(384.56 万 t);与秸秆直接燃烧相比,秸秆沼气利用可减少碳足迹 49.09%。秸秆沼气化利用的碳减排为秸秆沼气化利用总碳足迹与秸秆直接燃烧碳足

表 8 直接燃烧的秸秆沼气化利用所替代标准煤的碳排放

年份	直接燃烧的秸秆 (万 t)	沼气化利用可替代的标准煤 (亿 kg)	沼气化利用所替代标准煤的碳足迹 (万 t)
2008	512.70	12.73	341.90
2009	522.64	12.95	347.93
2010	520.93	12.92	347.13
2011	529.89	13.14	353.07
2012	539.56	13.38	359.37
2013	545.98	13.53	363.40
2014	554.17	13.77	369.87
2015	562.65	13.98	375.50
2016	542.97	13.45	361.36
2017	554.82	13.81	371.07
平均	538.63	13.37	359.05

表 9 农作物秸秆直接燃烧碳足迹及沼气碳足迹

年份	直接燃烧碳足迹 (万 t)	直接燃烧的秸秆沼气燃烧碳足迹 (万 t)	沼气运输碳足迹 (万 t)	直接燃烧的秸秆沼气利用总碳足迹 (万 t)
2008	698.83	350.16	5.10	355.26
2009	712.25	356.31	4.80	361.11
2010	709.14	355.51	4.67	360.18
2011	719.71	361.62	4.62	366.24
2012	732.51	368.03	4.63	372.66
2013	741.02	372.19	4.60	376.79
2014	752.83	378.79	4.68	383.47
2015	763.40	384.56	4.76	389.32
2016	734.37	370.09	4.57	374.66
2017	751.33	380.03	4.67	384.70
平均	731.54	367.73	4.71	372.44
总量	7 315.39	3 677.31	47.12	3 724.43

迹之差,10 年的平均碳减排为 359.10 万 t。相对于秸秆直接燃烧,沼气化利用可以有效减少碳排放。

王艺鹏等根据机会成本提出机会碳足迹的概念,即与秸秆直接燃烧相比秸秆沼气燃烧可直接减少的碳排放和秸秆沼气通过替代标准煤燃烧所减少的碳排放之和^[7],计算公式为

$$G = (E + C) - S。$$

式中: G 为秸秆沼气化利用的机会碳足迹,t; E 为秸秆直接燃烧产生的碳足迹,t; C 为秸秆沼气燃烧所代替的标准煤的碳足迹,t; S 为直接燃烧的秸秆沼气利用的总碳足迹,t。

由表 10 可知,江苏省 2008—2017 年秸秆沼气化利用理论上平均每年可减少碳排放 718.15 万 t,10 年总共可减少 7 181.56 万 t 碳排放,其中 2008—2015 年的机会碳足迹呈上升趋势,2015 年机会碳足迹最高,碳减排量为 749.57 万 t。

表 10 秸秆沼气化利用机会碳足迹

年份	秸秆沼气化利用机会碳足迹 (万 t)
2008	685.46
2009	699.07
2010	696.09
2011	706.54
2012	719.21
2013	727.62
2014	739.23
2015	749.57
2016	721.07
2017	737.70
平均值	718.15

3 讨论

本研究对江苏省 2008—2017 年的秸秆资源总

量和秸秆沼气化潜力进行了估算,为江苏省秸秆利用方式的转变和优化提供参考依据。10 年来江苏省秸秆资源总量年均均为 3 264.43 万 t,其中水稻秸秆年均资源量所占比例一直保持在 50% 以上,这与王雨辰等的研究结果^[8,18]一致;秸秆沼气化潜力年均均为 113.46 亿 m³,其中水稻秸秆沼气化潜力占总量的 55.97%。根据刘昊一等的研究,江苏省无锡市、常州市、淮安市、扬州市等地区水稻种植综合比较优势较大,水稻秸秆的产生量大,因此上述地区除加强燃料化利用外,还应重视对水稻秸秆资源以其他形式进行利用,如肥料化、饲料化、基料化、原料化利用等^[19]。目前,江苏省秸秆肥料化利用率最高且利用比例仍在不断增加,因此上述各市可通过发展快速腐熟还田、稻麦双套还田、堆沤还田等方式增加水稻秸秆的肥料化利用率^[16],以消纳大量的水稻秸秆资源。

许多学者已经开始利用碳足迹分析的方法对生态补偿机制的完善加以指导,而在秸秆综合利用方面,进行碳足迹分析可以对秸秆沼气化利用产生的环境效益进行评价,为推进沼气建设提供依据。本研究通过对用于直接燃烧的秸秆沼气化所产生的碳足迹进行分析,并计算直接燃烧的秸秆沼气化利用后可产生的碳减排。相对于直接燃烧,秸秆沼气化利用更有利于保护生态环境并节约能源。2008—2017 年江苏省用于直接燃烧的 5 386.3 万 t 秸秆,若沼气化利用总共可减少碳排放 3 590.96 万 t,可替代 133.7 亿 kg 标准煤,并减少标准煤燃烧产生的 3 590.55 万 t 碳排放。

4 结论

2008—2015 年江苏省秸秆资源总量呈上升趋势,2016 年、2017 年秸秆资源总量有所下降,10 年秸秆资源总量为 32 644.31 万 t;粮食作物的秸秆资源量占总资源量的 91.51%,其中水稻的秸秆资源量占比最高,占总资源量的 53.58%。

2008—2017 年江苏省秸秆可产生沼气总量为 1 134.59 亿 m³,2015 年秸秆沼气化潜力最大,为 118.65 亿 m³,沼气化潜力年均值为 113.46 亿 m³,提供的热值平均每年可代替 81.01 亿 kg 的标准煤燃烧。

2008—2017 年江苏省秸秆沼气化利用年均碳减排为 359.10 万 t,将直接燃烧的秸秆沼气化利用平均每年可替代 13.37 亿 kg 标准煤,减少标准煤燃烧的碳

排放达 359.05 万 t;机会碳足迹年均均为 718.15 万 t,理论上 10 年总共可减少碳排放 7 181.56 万 t。

参考文献:

- [1]江苏省统计局.江苏省统计年鉴[EB/OL]. [2019-01-10]. <http://tj.jiangsu.gov.cn/col/col64418/index.html>.
- [2]江苏省人民代表大会常务委员会.江苏省人民代表大会常务委员会关于促进农作物秸秆综合利用的决定[J].江苏农机化,2009(3):4-5.
- [3]新华社.中共中央、国务院印发《乡村振兴战略规划(2018—2022年)》[J].农村工作通讯,2018(18):8-35.
- [4]陈利洪,舒帮荣,李鑫.华东地区农业废弃物资源量估算及其综合利用评价[J].江苏农业科学,2018,46(13):251-255.
- [5]任继勤,于佩显.秸秆综合利用对节能减排的贡献效应研究[J].科技管理研究,2017,37(18):235-240.
- [6]张婷婷,冯永忠,李昌珍,等.2011 年我国秸秆沼气的碳足迹分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(3):124-130.
- [7]王艺鹏,杨晓琳,谢光辉,等.1995—2014 年中国农作物秸秆沼气化碳足迹分析[J].中国农业大学学报,2017,22(5):1-14.
- [8]王雨辰,陈浮,朱伟,等.江苏省秸秆资源量估算及其区域分布研究[J].江苏农业科学,2013,41(6):305-310.
- [9]冯蕾.江苏省秸秆资源评价与规模化能源利用发展研究[D].南京:南京农业大学,2010.
- [10]李雪,张欣,葛长明,等.不同秸秆厌氧发酵产沼气潜力研究[J].江苏农业科学,2016,44(6):496-499.
- [11]王微,林剑艺,崔胜辉,等.碳足迹分析方法研究综述[J].环境科学与技术,2010,33(7):71-78.
- [12]白伟荣,王震,吕佳.碳足迹核算的国际标准概述与解析[J].生态学报,2014,34(24):7486-7493.
- [13]闫丰,王洋,杜哲,等.基于 IPCC 排放因子法估算碳足迹的京津冀生态补偿量化[J].农业工程学报,2018,34(4):15-20.
- [14]中国统计局能源统计司.中国能源统计年鉴 2013[M].北京:中国统计出版社,2014.
- [15]高利伟,马林,张卫峰,等.中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J].农业工程学报,2009,25(7):173-179.
- [16]江苏省人民政府.省办公厅关于印发江苏省农作物秸秆综合利用规划(2010—2015 年)的通知[EB/OL].(2010-01-21)[2019-01-10].http://www.jiangsu.gov.cn/art/2010/1/21/art_46863_2681181.html.
- [17]江苏省人民政府.关于印发江苏省煤炭消费减量替代工作方案和江苏省燃煤发电项目煤炭替代管理暂行办法的通知[EB/OL].(2016-01-18)[2019-01-10].<http://fzggw.jiangsu.gov.cn/webpic/P020161230613425060987.pdf>.
- [18]朱晶,李天祥,朱珏.江苏省粮食增产的贡献因素分解与测算(2004—2013 年)——基于粮食内部种植结构调整的视角[J].华东经济管理,2015,29(3):11-16.
- [19]刘昊一,凌小燕,马聪,等.江苏省主要农作物种类分布研究[J].中国农机化学报,2017,38(12):108-117.