

北京市餐厨行业生物质燃料替代的 供应可靠性研究

陈守海¹, 蒋卓翔^{1*}, 李毅锐¹, 赵 博²

(1. 中国石油大学(北京)经济管理学院, 北京 102249; 2. 北京市城市管理委员会, 北京 100053)

摘要:为科学评估生物质燃料在北京市餐厨行业规模化应用的供应可靠性,从供需匹配视角出发,系统分析多元供应渠道的资源潜力与适配性。研究界定废弃油脂、农业秸秆和畜禽粪便三大供应源,依托 2024 年最新统计数据测算其有效供给潜力,并采用热值等值替代法量化行业燃料需求。结果表明:尽管全国生物质资源理论储量丰富,但各渠道供应可靠性存在显著差异。其中,废弃油脂技术成熟度高、政策导向明确,构成近期最稳健的供应来源;华北地区农业秸秆资源禀赋优越,是保障中远期供应韧性的关键支撑。据此,提出构建以废弃油脂为核心、依托区域协同的多元化供应体系,为北京市餐厨行业能源替代的平稳推进提供决策依据。

关键词:生物质燃料;餐厨行业;供应可靠性;潜力评估;北京

中图分类号:TQ517.4;F426

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2026)10-0006-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2026.10.002

Study on the supply reliability of biomass fuel substitution in Beijing's catering industry

CHEN Shou-hai¹, JIANG Zhuo-xiang^{1*}, LI Yi-rui¹, ZHAO Bo²

(1.School of Economics and Management, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2.Beijing Municipal Commission of Urban Management, Beijing 100053, China)

Abstract:To scientifically evaluate the supply reliability of biomass fuels for large-scale application in Beijing's catering industry, this study adopts a supply-demand matching perspective and systematically analyzes the resource potential and suitability of multiple supply channels. Three major supply sources are defined, namely waste cooking oil, agricultural straw, and livestock manure. Their effective supply potentials are estimated based on the latest statistical data for 2024. The fuel demand of the industry is quantified using the calorific value equivalent substitution method. The results indicate that, although China possesses abundant theoretical biomass resources, significant disparities exist in supply reliability across different channels. Among the three sources, waste cooking oil exhibits the highest technological maturity and enjoys clear policy support, making it the most stable supply source in the near term. Agricultural straw resources in North China are particularly abundant, serving as a critical pillar for ensuring mid- to long-term supply resilience. Accordingly, this study proposes the establishment of a diversified supply system with waste cooking oil as the core component and with regional coordination as a supporting mechanism, so as to provide a decision-making foundation for the orderly advancement of energy substitution in Beijing's catering industry.

Key words: biomass fuel; catering industry; supply reliability; potential assessment; Beijing

推动能源结构清洁低碳转型是实现“双碳”目标的关键路径。2026 年政府工作报告首次将“绿色燃料”“未来能源”纳入年度目标,明确提出加快发展自主可控的绿色能源体系,将其提升至国家战略高度。这一部署为我国生物质燃料的规模化应用提供了强有力的政策导向。

北京市作为首都和能源消费中心城市,餐饮行业规模庞大,能源需求刚性增长。在管道天然气未覆盖区域,大量餐饮企业仍依赖液化石油气(LPG)和白油等传统燃料,面临高碳排放、安全隐患及供应

波动等多重压力。生物质燃料虽具备可再生、低碳的替代优势,但其规模化应用的核心瓶颈在于供应的可靠性——即能否长期、稳定、经济地满足特定市场需求。相比化石燃料成熟的全球供应链,生物质燃料原料具有分散性、季节性强的特点,其收、储、运环节成本高昂,可占项目总成本的 60% 以上^[1],严重制约其经济可行性。在此背景下,探索以餐厨行业为突破口推动生物质燃料的可靠替代,既是落实国家战略的具体行动,也是破解北京能源结构矛盾的关键举措。

收稿日期:2026-04-07;修回日期:2026-07-31

基金项目:北京市科技计划项目(Z231100003823036)

作者简介:陈守海(1972-),男,博士,讲师,研究方向为石油天然气政策与法律,chenhouhai@163.com;蒋卓翔(2002-),男,硕士,研究方向为能源经济政策经济,通讯联系人,18014985454@163.com。

然而,现有研究未能有效回应这一核心挑战。已有成果多聚焦于生物质转化技术的工艺优化与环境效益分析^[2-3],宏观潜力估算难以直接转化为对特定城市、特定行业的有效供应能力判断。尤其缺乏针对北京这类能源输入型特大城市餐厨行业的精细化供需匹配研究,导致决策者无法准确评估“有多少资源可用”“能否满足需求”以及“如何保障供应稳定”。供给侧潜力评估与需求侧实际消费之间存在明显的分析断层。

为此,本研究构建“需求测算—潜力评估—匹配分析”的系统框架,聚焦北京市餐厨行业,重点回答不同来源生物质燃料的长期供应可靠性如何、何种多渠道组合策略最能保障其稳定替代。研究旨在填补区域—行业精细化匹配层面的研究空白,为北京市在国家战略指引下制定科学、可靠的生物质燃料替代路径提供直接决策依据。

1 北京餐厨行业需求测算与分析

1.1 测算方法及数据来源

本研究采用基于历史消费量的外推法,测算北京市餐厨行业生物质燃料需求潜力。该方法以热值等值替代为基准,确保生物质燃料在发热量层面与传统燃料(LPG 和白油)实现完全等价替代,需求规模由被替代传统燃料在目标行业的实际消费量决定。该方法规避了基于企业数量与理论能耗模型的复杂假设,直接利用反映市场真实活动的历史消费数据,使估算结果更具现实基础与政策参考价值。测算分为三步:首先,依据各燃料的低位发热量将其消费量转化为总发热量;其次,将总发热量统一折算为标准煤当量;最后,加和得到行业总需求。计算公式如下:

$$Q_i = (M_i \times \text{LHV}_i) / 29.037\ 6 \quad (1)$$

$$Q = Q_{\text{LPG}} + Q_{\text{WhiteOil}} \quad (2)$$

其中, Q_i 为燃料*i*(LPG 或白油)基于热值转化后的年消费量; M_i 为燃料*i*的年消费量; LHV_i 为低位发热量;29.037 6 为标准煤热值; Q 为北京餐厨行业生物质燃料年需求量; Q_{LPG} 与 Q_{WhiteOil} 分别为 LPG 和白油基于热值转化后的年消费量。

用于外推的基础数据来源及处理如下:依据《北京统计年鉴(2025)》,北京市 2024 年 LPG 年消费总量为 73.6 万 t,主要用于居民生活、工业及化工领域,其中餐饮业消费量约 0.4 万 t。白油消费量基于经销商实地调研(如宁夏盛鑫浩达、宁夏隆和嘉等)进行估算,北京市年消费量约 6~6.67 万 t,因其

终端用户中餐饮占比超过 99%,可认定其几乎全部用于餐厨行业。以上数据共同构成了需求测算的可靠活动水平基础。

1.2 需求结果分析

基于热值等值替代原则的测算结果显示(表 1),北京市餐厨行业生物质燃料年需求总量为 9.58 万~10.58 万 t 标准煤当量(以下简称万 tce)。为确保政策实施的有效性与供应链韧性,凸显北京作为示范城市的引领作用,本研究取测算上限值 10.58 万 tce 作为年需求基准。

表 1 需求量估算结果

燃料种类	消费量/ (万 t·a ⁻¹)	低位热值/ (MJ·kg ⁻¹)	热量当量/ (万 GJ·a ⁻¹)	需求量/ (万 tce·a ⁻¹)
LPG	0.4	45.50	18.2	0.63
白油	6~6.67	43.30	259.8~288.81	8.95~9.95
合计	—	—	278~307.01	9.58~10.58

短期内,北京作为先行城市,政策扶持与市场替代效应将集中释放潜在需求,尤以远郊区县未通天然气的餐饮场所为甚,其传统燃料依赖较强。最大需求设定有助于避免供应短缺制约政策实施,并促进本地产业链初步形成。中期而言,随市政基础设施完善及管道天然气覆盖率提升,餐厨行业对生物质燃料的实际需求量或逐步下降,但仍以初期最大值为基准,主要基于保守性原则;最大化需求假设可覆盖政策过渡期波动风险,确保规划冗余性,同时技术迭代可能催生新应用场景,部分抵消需求缩减。长期视角下,全国性需求扩张对北京产生双重影响:跨区域供应链成熟可降低原料成本,使本地受益于规模经济,但各地需求崛起亦可能分流上游资源,加剧竞争。

2 生物质燃料供应潜力评估与分析

2.1 供应渠道的界定

不同生物质资源在理论潜力、可利用性、收集成本及与餐厨行业契合度等方面差异显著(表 2)。基于资源可获得性、技术相关性及地理邻近性原则,本研究重点评估三种渠道:废弃油脂(餐厨废油为主),因其与餐饮业直接关联、技术成熟且政策明确,为优先渠道^[4];农业秸秆(华北玉米、小麦秸秆),资源丰富且邻近北京,虽收集成本高、季节性强,但中长期价值突出;畜禽粪便,来自周边规模化养殖场,通过厌氧消化制生物天然气,作为多元化补充。相比之下,林业剩余物因分布偏远、运输成本高,暂不考虑。

表 2 中国主要生物质资源潜力评估研究比较

研究来源	资源类型	理论潜力	实际每年可利用潜力	竞争性用途	收集难度与成本	餐厨行业契合度
中国经济报	废弃油脂	1200 万 t/a	260 万~270 万 t(常规收集); 980 万~1010 万 t(全覆盖)	生物柴油(UCOME)和 可持续航空燃料(SAF)	相对集中,收集体 系不完善,存在监管 漏洞	高度契合,技术 成熟,近期最可靠 替代原料
中国农业 科学院	农作物秸秆	8.6 亿 t/a	1.47 亿 t(能源化)	还田、饲料、基料、工业 原料	极度分散,季节性 强,收储运成本高	成本高昂,中长 期关键补充
国家林草局	林业剩余物	9 亿 t/a	7.31 亿 t	人造板、造纸、食药菌 栽培	分布偏远山区,收 集运输成本高	直接应用经济性 较差

2.2 供应潜力评估方法及数据来源

本研究采用“理论潜力—可收集潜力—可利用潜力”递进框架,评估供应潜力。宏观数据源于《中国统计年鉴 2025》《北京统计年鉴 2025》及相关年度报告。

2.2.1 废弃油脂渠道

废弃油脂制备生物柴油是技术最成熟的路径之一,其面向北京 2024 年的有效供应潜力采用国际能源署(IEA)推荐的公式进行估算,具体计算公式如下。

$$PWCO = Q_{\text{edible}} \times f_{\text{gen}} \times (1 - L_{\text{loss}}) \times \eta_{\text{conv}} \times f_{\text{alloc}} \times f_{\text{util}} \times (Q/29.0376) \quad (3)$$

其中, $PWCO$ 为面向北京市场的理论供应潜力; Q_{edible} 为食用油消费量; f_{gen} 为废弃油脂产生系数,取 0.3(参考欧盟标准和中国业内报告[5]); L_{loss} 为不可收集损失率,据报告[5]外推取 0.78; η_{conv} 为废油脂转化为生物柴油的技术转化效率,参考技术规范[6]与 SRCA 工艺文献[7],取 0.95; f_{alloc} 为调配到北京市场的供应比例,结合北京先行区定位与欧盟经验,取 10%~15%; Q 为生物柴油低位热值,取 37 MJ/kg; f_{util} 为生物柴油在目标市场的消纳比例,考虑试点政策推动与先行区基础,本文取 0.8。

北京市废弃油脂制生物柴油主要服务于 B10 车用燃料、机场、环卫及物流车队,未来可拓展至航空燃料。相较之下,餐厨行业应用更具优先性,兼具碳减排与食品安全治理价值,依托“产生—收集—加工—回用”闭环,可从源头阻断废弃油脂回流餐桌。鉴于其突出作用,建议北京餐厨行业供应潜力分配比例设为 40%~50%,以保障资源定向利用,提升区域公共安全韧性。

2.2.2 农业废弃物(秸秆)渠道

秸秆制备生物液体燃料技术可行,可通过气化合成、水解发酵[8]等工艺生产[9],国内已有产业化应用。本文采用 FAO 推荐的农作物残余物评估方

法,公式如下:

$$P_{\text{straw}} = \sum (\text{Crop}_{\text{Area}} \times \text{Yield} \times RPR \times CF \times EF \times NCV \times \eta) / 29.0376 \quad (4)$$

$$P_{\text{catering}} = P_{\text{straw}} \times E \times \theta \quad (5)$$

其中, P_{straw} 为 2024 年全国秸秆生物液体燃料理论总潜力; $\text{Crop}_{\text{Area}}$ 为全国粮食作物总播种面积; Yield 为平均单位面积产量,取 5.92 t/hm²; RPR 为草谷比,参考《农作物秸秆资源台账建设工作通知》[10]华北区域默认值,取 1.1; CF 为可收集系数,取 0.74[11]; EF 为秸秆能源化利用比例,参考相关报告[12-13]并结合利用趋势,设定为 15%~20%; NCV 为秸秆净热值,取 15 MJ/kg[14]; η 为能源转化效率,为 0.7。 P_{catering} 为北京餐厨行业的有效供应潜力; E 为区域调配系,基于北京先行区定位,设定为 8%~10%; θ 为餐厨行业分配系数,考虑收集—转化—就地消纳闭环在清洁替代与食品安全方面的显著效益,取 40%~50%。

2.2.3 畜禽粪便渠道

畜禽粪便制备生物液体燃料技术已成熟,主流路径包括厌氧发酵制生物天然气,以及水热液化等热化学转化工艺[15]。本文采用欧洲沼气协会标准化方法评估 2024 年第 j 类动物(生猪、牛、羊、家禽)的理论供应潜力,公式如下:

$$P_{\text{manure},j} = \sum (\text{Number}_j \times VS_j \times BMP_j \times \eta_j \times f) \times Q_m / 29.0376 \times 10^{-4} \quad (6)$$

$$P_n = P_{\text{manure}} \times E \times \theta \quad (7)$$

其中, $P_{\text{manure},j}$ 为第 j 类动物粪便渠道所提供的理论供应潜力; Number_j 为第 j 类畜禽年末存栏量; VS_j 为挥发性固体含量,参考《畜禽粪尿产生量及主要成分参数》默认值; BMP_j 为产甲烷潜力,取 0.25 m³/kgVS[16]; η_j 为转化效率,取 35%[17]; f 为能源化利用比例,取现有报告文献均值 12%; Q_m 为甲烷低位热值,取 35.9 MJ/m³; P_n 为北京餐厨行业的供应潜力; E 为区域调配系,设定为 8%~10%; 餐厨行

业分配系数 θ 设定为 5%~10%, 后者综合考虑了粪便能源化产品在车用、工业、民用等领域的竞争性分配, 以体现餐厨替代的优先地位。

2.3 供应潜力评估结果分析

2.3.1 各渠道供应潜力计算结果分析

通过对三条渠道的系统评估, 面向北京市餐厨行业的生物质燃料年供应潜力分别为: 废弃油脂 10.48 万~19.65 万 tce, 农业秸秆 9.98 万~20.79 万 tce, 畜禽粪便 2.92 万~3.65 万 tce。

从供应量级看, 废弃油脂与农业秸秆处于同一量级, 二者潜力下限均接近 10 万 tce, 上限均超过 19 万 tce, 构成供应体系的两大支柱。其中, 废弃油脂潜力略高于秸秆, 且其资源集中于餐饮活动, 收集链条短、转化技术成熟, 具备短期内快速释放供应的条件。农业秸秆虽理论资源总量最大, 但受限于分散性、季节性、收储运成本, 实际可稳定供应的下限偏低, 更适合作为中长期战略储备。

畜禽粪便潜力显著低于前两者, 仅约 2.9 万~3.7 万 tce, 量级约为废弃油脂的 1/5~1/3。这主要受限于能源化利用比例(12%)及餐厨行业在沼气产品中的分配份额(5%~10%)。尽管如此, 该渠道在特定区域(如远郊区县养殖场周边)仍具补充价值, 可作为分布式能源节点。

综上, 静态潜力数据显示: 废弃油脂是近期最可靠的供应来源, 农业秸秆是中长期供应韧性的关键支撑, 畜禽粪便则为有益的多元化补充。三者共同构成梯次分明、资源充足的供应体系。

2.3.2 基于时间维度的供应可靠性演进分析

供应可靠性具有动态演进特征, 需分阶段审视格局演变, 确保各时期均能满足需求。

短期来看, 供应高度依赖废弃油脂渠道。该渠道潜力下限(10.48 万 tce)已接近需求上限(10.58 万 tce), 加之原料集中于餐饮活动、收运链条短、转化技术成熟, 且北京具备政策先行优势, 可快速构建“定向收集—转化—应用”行政闭环。此阶段供应可靠性较高, 核心在于夯实闭环管理基础。

中期来看, 农业秸秆渠道重要性显著上升。随着全国重点城市推广, 跨区域资源竞争加剧, 华北秸秆可能成为多省市争夺对象, 推高成本并影响稳定。同时, 市政燃气管网扩展将部分替代餐厨燃料需求, 缓解供应压力。应对策略需从行政主导向“供应链优化+区域协同”转型: 一方面通过技术创新降低秸秆收储运成本, 另一方面牵头建立京津冀产业协作机制, 将竞争转化为协同。

长期来看, 全国市场趋于成熟, 北京作为资源输入型城市的成本优势减弱, 核心竞争力转向技术标准与品牌价值输出。通过引领燃料品质、碳核算等“北京标准”升级为行业规范, 北京可构筑高端市场质量门槛, 反向吸引优质供应链资源。届时, 供应安全建立在持续的技术引领与标准话语权之上。

综上, 北京市餐厨行业生物质燃料供应可靠性呈现清晰的阶段性演进特征: 短期依托废弃油脂构建行政闭环, 中期通过供应链优化与区域协同化解资源竞争, 长期转向技术标准与品牌价值输出。分阶段动态策略的有机衔接, 可系统性保障不同时期的供应安全。

3 北京市餐厨行业供需匹配分析

3.1 静态供需匹配分析

北京市餐厨行业生物质燃料年需求为 9.58 万~10.58 万 tce(取上限 10.58 万 tce 作为基准)。供应潜力方面, 废弃油脂、农业秸秆和畜禽粪便三条渠道分别为 10.48 万~19.65 万 tce、9.98 万~20.79 万 tce 和 2.92 万~3.65 万 tce。各渠道潜力下限之和约为 23.38 万 tce, 远超需求上限, 资源总量充足。

从单渠道看, 废弃油脂潜力下限(10.48 万 tce)已基本覆盖当前需求上限(10.58 万 tce), 且其资源集中于餐饮活动、转化技术成熟, 是近期最可靠的供应支柱。农业秸秆潜力下限(9.98 万 tce)略低于需求上限, 但上限最高, 具备中长期供应韧性。畜禽粪便潜力(2.92 万~3.65 万 tce)作为补充, 可在远郊分布式场景发挥作用。

综上, 静态供需匹配良好, 供应瓶颈不在于资源总量, 而在于如何通过政策引导和成本控制将潜力转化为实际有效供应。

3.2 动态演进供需匹配前景分析

基于前述静态匹配结果, 供需格局随时间呈现阶段性演化特征, 需分时期审视匹配关系。

短期来看, 需求以 10.58 万 tce 为基准, 废弃油脂潜力下限(10.48 万 tce)已基本覆盖需求上限, 二者高度接近。加之该渠道收运链条短、转化技术成熟且具备政策先行优势, 供需匹配关系清晰可靠。农业秸秆和畜禽粪便此时仅作为辅助补充。

中期来看, 供需两侧发生逆向变化。供应端, 全国重点城市推广导致华北秸秆等资源竞争加剧, 推高原料成本, 可能抑制实际可供应量; 需求端, 市政燃气管网扩展将逐步替代部分餐厨燃料, 需求趋于稳定甚至缓慢收窄。匹配压力主要来自秸秆供应的经

经济性下降,需通过供应链优化和区域协同机制化解。

长期来看,全国市场成熟,北京作为资源输入型城市的成本劣势凸显,单纯依赖资源调配的匹配模式难以为继。核心竞争力转向技术标准与品牌价值输出,通过“北京标准”引领形成高端市场准入壁垒,从而以质量优势吸引优质资源主动流入,实现供需匹配从“量”到“质”的升维。

综上,短期匹配高度可靠,中期需应对成本上升压力,长期则依赖标准引领重构匹配逻辑。

4 结论与建议

4.1 研究结论

本研究通过对北京市餐厨行业生物质燃料的供需潜力进行精细化评估,得出以下结论。

(1)供应资源基础坚实。北京餐厨行业年需求为9.58万~10.58万tce(取上限10.58万tce作为基准)。废弃油脂、农业秸秆和畜禽粪便三条渠道面向北京的年供应潜力分别为10.48万~19.65万tce、9.98万~20.79万tce和2.92万~3.65万tce。各渠道潜力下限之和约23.38万tce,远超需求上限,资源总量充足。

(2)供应结构梯次分明。废弃油脂凭借与餐厨行业的高度协同性、成熟技术路径及公共安全价值,构成近期核心供应支柱;农业秸秆潜力巨大,是中长期供应韧性的关键战略储备;畜禽粪便则为有益补充,在分布式能源应用方面具有示范价值。

(3)供应可靠性呈现阶段性演进特征。短期宜通过行政手段构建闭环管理体系;中期需着力优化供应链并推动区域协同发展;长期应转向技术标准创新与品牌价值输出,以系统性应对资源竞争与需求变化。

4.2 政策建议

尽管资源总量充足,但生物质燃料相较于传统化石燃料仍存在明显的价格劣势,市场竞争力不足是制约其规模化应用的核心障碍。为破解此困境,提升供应体系的实际可行性,提出以下政策建议。

(1)实施精准的经济激励。基于热值或碳减排量制定差异化补贴政策,初期重点支持废弃油脂制生物柴油,后续向秸秆渠道倾斜,并探索与碳价挂钩的长期机制。

(2)优化供应链以降低成本。引导建设规范化的废弃油脂收集网络和秸秆收储运体系,通过规模效应与流程优化降低原料成本,同时支持关键技术研发与产业化。

(3)构建强制性市场消纳机制。借鉴国际经验,探索设立餐饮行业生物质燃料掺混指令,为产品提供稳定市场出口,吸引社会资本投入。

(4)推动区域协同与标准互认。发挥北京先发优势,牵头建立京津冀区域产业协同机制,统一原料收集、产品质量及碳排放核算标准,形成一体化健康市场环境。

参考文献

- [1] 刘洪荣,王乐乐,高建勇.中国生物质液体燃料产业发展现状探究[J].汽车安全与节能学报,2026,17(1):18-32.
- [2] Chowdhury P, Mahi N A, Yeassin R, et al. Biomass to biofuel: Impacts and mitigation of environmental, health, and socioeconomic challenges[J]. Energy Conversion and Management, 2025, 25: 100889.
- [3] Ahmadipour M, Ridha H M, Ali Z, et al. A comprehensive review on biomass energy system optimization approaches: Challenges and issues[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2025, 106: 1167-1183.
- [4] 郭晓亚,慈冰冰,于晶露,等.废油脂的利用及我国生物柴油的生产状况[J].现代化工,2010,30(10):6-8,10.
- [5] 韦伯咨询.2025年中国废弃油脂资源综合利用专题调研与深度分析报告[R].北京:韦伯产业智库,2025.
- [6] 国家能源局.生物柴油(BD100)原料 废弃油脂:NB/T 13007—2021[S].北京:中国电力出版社,2021.
- [7] 杜泽学,王海京,江雨生,等.采用废弃油脂生产生物柴油的SR-CA技术工业应用及其生命周期分析[J].石油学报(石油加工),2012,28(3):353-361.
- [8] 陈亮,任永成,杜风光,等.玉米秸秆水解液燃料乙醇发酵条件优化[J].太阳能学报,2020,41(7):33-39.
- [9] 漆新华,仇冰洁,付君妍.“双碳”目标下农业废弃物资源化实施新路径[J].农业资源与环境学报,2024,41(5):989-990.
- [10] 农业农村部办公厅.关于做好农作物秸秆资源台账建设工作的通知:农办科〔2019〕3号[EB/OL].(2019-01-14)[2026-04-02].http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/201901/t20190129_6170842.htm.
- [11] 王亚静,毕于运,高春雨.中国秸秆资源理论可收集利用量估算方法简析:2014中国(国际)生物质能源与生物质利用高峰论坛(BBS 2014)技术文摘集[C].上海:勤哲传媒集团,2014.
- [12] 农业部农产品加工局.农产品及加工副产物综合利用问题研究报告[R].北京:农业部农产品加工局,2014.
- [13] 中国再生资源回收利用协会.2018中国农林废弃物综合利用产业化研讨会论文集[C].江苏海门:中国再生资源回收利用协会,2018.
- [14] 程旭云,牛智有,晏红梅,等.基于工业分析指标的生物质秸秆热值模型构建[J].农业工程学报,2013,29(11):196-202.
- [15] 徐水洞,刘志丹.以粪污水热资源化为核心的高效种养结合系统分析与展望[J].农业工程学报,2024,40(12):1-12.
- [16] 中华人民共和国农业农村部.沼气工程技术规范 第1部分:工程设计:NY/T 1220.1—2019[S].北京:中国农业出版社,2019.
- [17] 中国沼气学会.中国沼气行业“双碳”发展报告:2024[R].北京:中国沼气学会,2024.■