

# 基于氮平衡的种养结合沼液资源化利用研究

刘晗晓<sup>1</sup>, 关正军<sup>1</sup>, 麦 翀<sup>1</sup>, 高立洪<sup>2</sup>, 尹 恒<sup>1</sup>

(1. 西南大学 工程技术学院, 重庆 400715; 2. 重庆市农业科学院, 重庆 401329)

**摘要:** 研究沼液经济性消纳对提高沼液资源利用率、维持沼气工程稳定运行、缓解养殖带来的环境压力、提升农业废弃物资源化利用效率和经济效益, 推动种养循环一体化发展具有重要意义。为此, 结合农业废弃物资源化利用方式, 基于盈亏平衡分析和秸秆资源化利用模型, 以沼液经济性消纳半径为核心, 探究了沼气工程投资金额和处理规模之间的关系, 提出了沼液经济性消纳模型。研究结果表明: 沼气工程投资金额与处理规模之间关系性较强 ( $R^2 = 0.9842$ ); 沼液经济性消纳半径  $R_{\text{opt}}$  选取的主要影响因素是运输费用和沼液中 N 含量, 不同消纳区域农业生产系数的差异性也会对经济性消纳半径的评估产生影响。利用模型对江西新余南英垦殖场规模化沼气发电工程 (SBPGP) 沼液经济性消纳半径进行估算, 在保证氮平衡基础下, 其沼液最小消纳范围在  $31.94 \text{ km}^2$  左右。沼液经济性消纳模型的构建, 为以沼气工程为纽带的种养一体化循环模式提供了技术参考, 从经济性视角为循环农业发展提供了理论依据, 从而实现经济效益与环境效益协调发展的目标。

**关键词:** 沼液消纳; 盈亏平衡; 沼液资源化利用模型; 经济性消纳半径; 种养循环

中图分类号: S216.4

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2021)01-0001-07

## 0 引言

现阶段国内畜禽养殖模式正逐步向规模化养殖过渡, 高污染、低效率的养殖和畜禽废弃物处理模式成为限制养殖业发展的难题<sup>[1]</sup>, 缓解养殖业所带来的环境压力逐渐成为国内外学者研究的重点<sup>[2]</sup>。学者们试图从畜禽养殖污染物时空分布<sup>[3-4]</sup>、环境影响<sup>[5]</sup>、资源化利用<sup>[6-9]</sup>、减排<sup>[10]</sup>和环境治理工作<sup>[11-12]</sup>等多方面中追求高效的畜禽粪污处理模式<sup>[13-14]</sup>, 探究全新的农业废弃物管理<sup>[15-16]</sup>和沼渣沼液的利用方法<sup>[17]</sup>, 谋求一种更为高效的资源化利用途径。目前, 畜禽养殖废弃物处理和农田养分管理方面的研究已趋向于完善, 结合“猪-沼-果”“四位一体”模式和各区域特点, 国内探究出多种循环农业发展模式<sup>[18-19]</sup>。国内种养环境较为复杂, 畜禽粪便与农田之间并没有形成完整的养分循环系统, 种养循环体系内仍存在开环区间, 粪肥管理链的各个阶段尚存在不足<sup>[20]</sup>。

潘瑜春等<sup>[21]</sup>对北京市周边农田的畜禽粪污承载力进行核算, 发现农田对农业废弃物依旧有着巨大消纳潜力。结合重庆市种养环境, 彭里等<sup>[22]</sup>曾核算出

重庆市猪粪当量负荷在  $44.37 \text{ t/hm}^2$  左右, 畜禽粪便中含有 Cu、Zn、Cb 等重金属元素。薄录吉等<sup>[23]</sup>研究发现畜禽粪污中重金属含量不足以成为其资源化利用的阻碍。为保证农作物对 N 元素的高效利用, 农田需要调整好化学 N 和有机 N 的投入比例<sup>[24]</sup>。农业生产需要在更加高效的资源化利用方式的指导下发展, 以维持农田养分系统的稳定性<sup>[25]</sup>。种植和养殖的耦合关系是构成循环农业的主体, 循环农业的发展是在环境、社会、经济三者共同作用下进行的。因此, 循环农业系统内能量与物质的流动都需要在经济的规划与指导下进行。秸秆资源化利用模型<sup>[26-27]</sup>和有机肥的经济性运输模型<sup>[28]</sup>完善了农业系统内物质和能量由消费者反馈到生产者的过程。沼液资源化利用是打通消费者与生产者之间重要的纽带, 是完善农业系统内物质与能量流动体系的重要环节。沼液资源化利用的过程需要经济性规划模型为其提供指导。

为此, 以盈亏平衡分析模型为基础, 参考秸秆资源化利用的经济化模型<sup>[26-27]</sup>, 以 N 元素的需求和供给量作为计算标准, 对沼液还田的经济性进行评估, 确定沼液还田的最佳经济消纳半径和沼液资源化利用模型, 为国内种养比例适配计算提供研究思路, 加速“整县推进”进程和循环农业的发展。

## 1 沼液资源化利用经济模型

### 1.1 模型建立

收稿日期: 2020-02-25

基金项目: 重庆市技术创新与应用示范专项产业类重点研发项目 (cstc2018jszx-cydzX0045); 西南大学博士基金 (含引进人才计划) 项目 (SWU118164)

作者简介: 刘晗晓 (1995-), 男, 河北邢台人, 硕士研究生, (E-mail) cheryliu20@163.com。

通讯作者: 关正军 (1970-), 男, 哈尔滨人, 教授, 博士生导师, (E-mail) zhjguan@163.com。

首先,以盈亏平衡分析(Breakeven analysis)为研究基础,利用其揭示系统中影响盈亏状况的变量及变量之间的依存关系的作用,探究沼液资源化利用最佳经济性半径。当总成本最小时,工程净利润便最大,其公式为

$$\text{净利润} = \text{销售收入} - (\text{变动成本} + \text{固定成本})$$

其次,结合由 Nhu Quynh Diep<sup>[26]</sup>提出的秸秆资源化利用模型,将秸秆资源的能源产量差异转化为秸秆的能源密度,将复杂的农业环境转变为简单的可计算模型。以秸秆资源打包到资源岛再统一运送到工厂为处理模式,将秸秆的收集、运输和处理过程模型化、数据化,运用数学模型进行模拟和计算,最终提出秸秆资源化利用的最优半径模型。

因此,将沼气工程处理中心作为模型中心,四周农田作为沼液消纳的主体,养殖废弃物从养殖场运输到处理中心的距离是固定值。因此,将前期原料运输成本计入平均处理成本中,处理中心到农田的理论平均运距为沼液的经济消纳半径  $R_{bsa}$ 。

### 1.2 模型参数推导过程

农业种植受环境、季节、品种、土壤状态等因素影响,对养分需求差异性较大<sup>[29]</sup>。为保证模型的代表性和适用性,将农业种植过程中的差异性用不同系数进行表达,将复杂的种植环境简单化和模型化。

模型假设沼液采用罐车运输,为保证运输成本最低、获得效益最高,消纳区域应为以处理中心为圆心的圆形区域,如图 1 所示。模型内沼液道路运输条件用道路弯曲系数  $\tau$  来表达,种植面积比例以本区域内耕地系数  $K_1$  来表达,处理中心到农田的平均运距为  $R_{bsa}$ 。



图 1 沼液输送模型图

Fig 1 Biogas slurry transport model diagram

1) 农田对 N 的需求量计算,则有

$$N_{gd} = \frac{\pi \cdot R_{bsa}^2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot n}{\eta} \quad (1)$$

式中  $N_{gd}$ —消纳区域内作物对沼液的 N 的需求量 (kg/年);

$R_{bsa}$ —经济性消纳区域半径(km);

$K_1$ —耕地指数,划分的消纳区域内耕地所占比例;

$K_2$ —有机肥施肥供给占比;

$n$ —单位面积内作物对 N 的需求量 [kg/(km<sup>2</sup>·年)];

$\eta$ —植株对 N 元素的吸收利用指数。

$$n = \sum \frac{K_i \cdot \omega_i}{\xi_i \cdot S_i} \quad (2)$$

式中  $K_i$ —种植面积比例;

$\omega_i$ —作物年产量(kg);

$S_i$ —作物种植面积(m<sup>2</sup>);

$\xi_i$ —每生长 100kg 作物,植株 N 的吸收量(kg)。

2) 运输成本计算。沼气工程运行过程中,运输成本包括原料收集成本和沼液输送成本。沼气工程在选址确定后,与养殖场的收集距离将固定了,则畜禽粪污的收集、运输成本将成为沼气工程日常运行过程中较为固定的成本输出,将收集运输成本计入养殖粪污的平均处理成本  $b$  中。因此,文中运输成本指处理后沼液运输到农田的成本。

运输成本由平均运输费用  $P$ 、平均运距<sup>[30]</sup>和道路弯曲系数  $\tau$ <sup>[26]</sup>所决定,即

$$y_1 = \frac{2}{3} R_{bsa} \cdot P \cdot A_1 \tau \quad (3)$$

式中  $P$ —平均运输成本 [元/(km·m<sup>3</sup>)];

$A_1$ —沼液总运输量(m<sup>3</sup>);

$\tau$ —道路弯曲系数。

平均运输成本受工程当地运输环境和运输条件所影响而不同,道路弯曲系数根据工程所在地环境特点一般选取 1.5~3.0。

3) 工程固定成本计算。工程固定成本包括厂房、处理设备、车辆等固定资产投资和处理成本、劳动力投入等相关值,则有

$$y_2 = \frac{Y}{T} + A_2 \cdot b \quad (4)$$

式中  $Y$ —工程总投资金额(元);

$T$ —项目回收期限(年);

$A_2$ —工程每年产量(m<sup>3</sup>);

$b$ —处理每方污水的平均成本(元/m<sup>3</sup>)。

养殖污水的平均处理成本  $b$  根据沼气工程的处理方式不同会有较大的波动。

4) 沼气工程投资金额与处理规模非线性模型计算。通过分析资源化工程可行性研究数据,可回收资源化工程总投资金额与处理规模之间满足一定关系<sup>[26-27]</sup>,即

$$Y = \varepsilon \cdot \chi^\alpha \quad (5)$$

式中  $\varepsilon$ —工程规模因子;

$\alpha$ —工程规模系数  $0 < \alpha \leq 1$ ;

$\chi$ —工程生产规模,即  $A_2$ 。

通过对国内多个沼气工程进行数据调研,并对部分文献[31]中提出的沼气工程投资与处理规模数据进行处理,对沼气工程投资和处理规模之间的非线性关系模型进行拟合,得到关系如图2和图3所示。

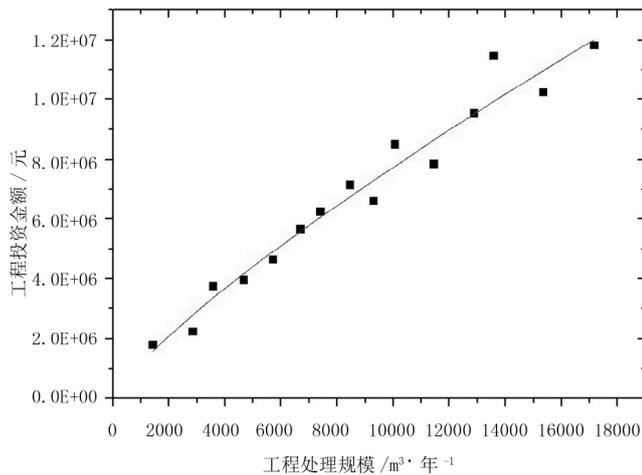


图2 工程投资金额与处理规模关系拟合图

Fig 2 Fitting diagram of the relationship

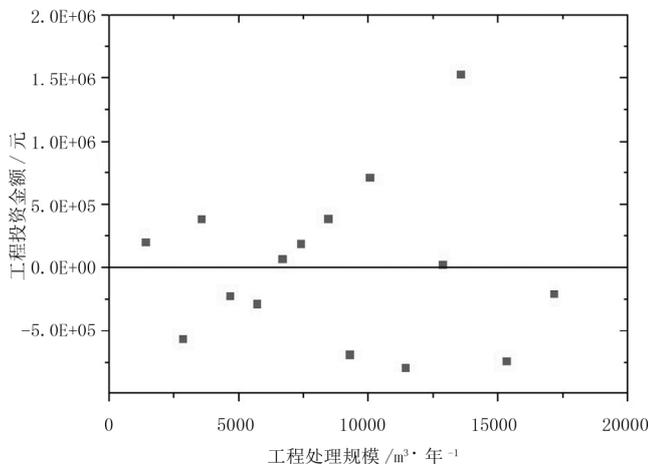


图3 工程投资金额与处理规模离散关系

Fig 3 Discrete image of the relationship

拟合结果表明:资源化可行性研究中,沼气工程投资  $Y$  和处理规模  $\chi$  之间满足一定的非线性关系,即  $y = 4932\chi^{0.7924}$ 。通过模型可知:沼气工程投资金额和处理规模之间的相关性较强 ( $R^2 = 0.9842$ ),两者之间

的相互影响效果较为显著;对于资源化工程经济模型,拟合程度较好、契合度较高,具有一定可信度和实际应用意义。

工程规模因子  $\varepsilon$  表示处理规模  $\chi$  对工程投资  $Y$  的影响,工程规模系数  $\alpha$  是对其影响偏差的修正。拟合数据表明,处理规模对工程投资的影响性较强,且偏差值较低。随着处理规模的增加,沼液消纳范围随之增大,沼气工程投资金额比例会相对降低。对于沼气工程和处理规模关系的拟合,其结果具有相关性、一致性和代表性。

因此,在沼气工程投资规划中利用本文拟合出的沼气工程投资及处理规模相关关系的参数,对工程投资成本的评估具有重要指导意义。

5) 沼液的运输量和沼液工程生产总量之间关系计算,即

$$A_1 = (1 - \theta) A_2 \quad (6)$$

式中  $\theta$ —沼液在运输过程中的折损系数。

6) 沼液对农田  $N$  元素供给与需求量计算,即

$$N_{sq} = A_1 \cdot T_N \quad (7)$$

式中  $N_{sq}$ — $N$  的供给量 (kg);

$T_N$ —沼液中氮的含量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

假设土地中作物对  $N$  需求与沼液所提供的  $N$  之间满足:  $N_{qd} = N_{sq}$ 。

7) 沼液销售经济效益估计。现阶段大田作业中主要是依靠尿素 ( $\text{CON}_2\text{H}_4$ ) 等化肥作为  $N$  元素的供给源,为保证农民对沼液的接受程度,以尿素化肥中的  $N$  元素价格作为沼液销售价格定价标准,即

$$P_{cf} = P_{bs} \quad (8)$$

式中  $P_{cf}$ —化肥中  $N$  元素单价 (元/kg);

$P_{bs}$ —沼液中  $N$  元素单价 (元/kg)。

沼液中  $N$  元素总销售价值为

$$L_{bs} = P_{bs} \cdot N_{sq} \quad (9)$$

8) 其他经济收入计算。模型假设中,沼液作为主要  $N$  资源供给,其他经济收入如沼渣制肥、沼气发电及政府补助等,其使用价值不再局限于周边农田。对此,沼液消纳的经济性半径的评估内容中,可不再对其产生价值量进行详细计算<sup>[31]</sup>。

本文主要针对沼液工程经济性半径的最佳值进行求解,利用本评估模型在沼气工程的沼液可消纳土地面积配比规划时,需要对其产生的环境价值和经济效益进行详细评估。

1) 沼渣堆肥销售效益估算。沼气工程处理畜禽废弃物后,将沼液还田处理,沼渣进行堆肥后以有机肥销售。沼渣的产量和沼液之间的关系满足

$$B = \frac{A_2}{\rho} \cdot \frac{\gamma T_s}{(1-\delta)(1-\sigma)\beta T_s - \gamma T_s} \quad (10)$$

式中  $X$ —沼气工程干物质产量(t);  
 $T_s$ —干物质含量(%);  
 $\beta$ —干物质在厌氧阶段降解程度(%);  
 $\gamma$ —固液分离转化为干物质的总量(%);  
 $\delta$ —沼渣含水率(%);  
 $B$ —沼渣总产量(t)。

沼渣对堆肥后的经济利润为

$$L_{dig} = B \cdot v \cdot P_{dig} \quad (11)$$

式中  $v$ —沼渣堆肥过程折损系数。

2) 沼气销售经济效益估算。沼气主要利用其燃烧后释放内能提供经济效益,使用方法和计价方式没有统一标准,以  $L_{bio}$  表示沼气经济效益,且  $L_{bio} \propto A_2^{[32]}$ 。

3) 其他经济效益估算。沼气工程运行过程中,其他经济收益如政府补贴<sup>[33]</sup>等,与当地政策和工程状态不同而有一定差异,以  $L_b$  表示其经济效益,且  $L_b \propto A_2^{[33]}$ 。

### 1.3 总经济成本分析计算

通过盈亏分析模型得到沼气工程运行过程中经济效益模型为:沼气工程年净利润  $L =$  工程销售收入 - (运输成本 + 工程固定成本),即

$$L = L_{dig} + L_{bio} + L_b + L_{bs} - (y_1 + y_2) \quad (12)$$

工程年利润无法反映工程经济效益的优劣,对此将工程单位净利润对经济消纳半径进行求导,当导数为零时,可以得到最优结果,即

$$\frac{dL}{dR_{bsa}} = -P \cdot \frac{2}{3}(1-\theta)\tau - 2(\alpha-1) \cdot \frac{\varepsilon}{T} \cdot \left\{ \frac{\pi K_1 K_2 n}{\eta T_N (1-\theta)} \right\}^{\alpha-1} \cdot R_{bsa}^{2\alpha-3} = 0 \quad (13)$$

$$R_{bsa} = \left\{ \frac{P(1-\theta)^\alpha \tau T}{3\varepsilon(1-\alpha)} \cdot \left( \frac{\pi K_1 K_2 n}{\eta T_N} \right)^{1-\alpha} \right\}^{\frac{1}{2\alpha-3}} \quad (14)$$

由式(14)可知:

1) 沼液运输成本  $P$ 、沼液中  $N$  元素含量  $T_N$  和道路

弯曲系数  $\tau$  等工程规模参数会因沼气工程在运行过程中,不同时段内生产条件的不同,而具有一定差异性,属于主观影响因素,是  $R_{bsa}$  的主要影响参数。

2) 折损系数  $\theta$ 、耕地指数  $K_1$ 、沼液施用指数  $K_2$ 、植物吸收系数  $\eta$  和氮元素需求量  $n$  等农业生产相关系数和工程回收期  $T$  等参数,由当地农业生产状况和工程规模所确定,在工程运行周期内不会有较明显变化,属于客观影响因素,对  $R_{bsa}$  影响较小。

3) 工程规模因子  $\varepsilon$  和工程规模系数  $\alpha$  可直接由沼气工程投资金额与处理规模的非线性关系拟合出,对  $R_{bsa}$  取值范围影响较小。通过模型计算可知,沼液工程处理规模和工程投入成本等工程系数与  $R_{bsa}$  相关性较弱,无直接影响作用。

因此,可认为在沼气工程规划过程中,沼气工程周边需配置  $R_{bsa}$  范围的土地对沼气工程所产生的沼液进行消纳,此时沼液消纳水平和种养循环效率最高,可获得的较高经济效益,农业生产过程中经济耦合作用最强,在畜禽粪便资源化利用工程中,工程收益最大。

## 2 工程案例验证

选取江西省江西正合生态农业有限公司的南英垦殖场规模化沼气发电工程(SBPGP)作为案例,验证经济性消纳模型的可行性。

该工程位于江西省新余市渝水区罗坊镇( $N27^\circ 49'24.27''$ ,  $E115^\circ 06'50.27''$ ),属于南方平原地区,亚热带湿润性气候,气候温和,雨量充沛。工程通过建立收储运体系及对周边30km范围内养殖场全量化处理模式,集中处理区域内年出栏生猪40万头的养殖场粪污。工程设计使用寿命为20年,采用全混合式厌氧反应技术(CSTR),日处理沼液1000t,处理后沼液供应周围农田使用。工艺流程:中温( $35^\circ C$ )发酵,进料总固体含量(TS)约6%,水力停留时间(HRT)约20天,如图4所示。

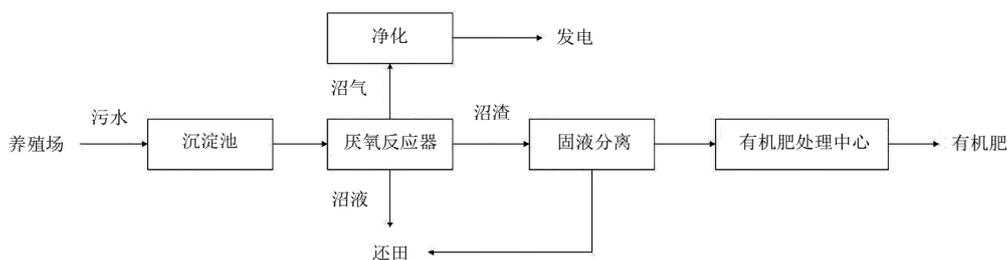


图4 南英垦殖场规模化沼气发电工程工艺流程图

Fig. 4 SBPGP process flow diagram

通过实地走访当地种植和养殖专业户,对当地农业种植参数进行调研。周围农田以种植水稻等粮食作物为主,经济作物以新余蜜桔、新余黄花梨等为主。

对该工程实地调研,确定当地道路弯曲系数  $\tau$  取 1.5,运输成本  $P$  为 7 元/ $\text{km} \cdot \text{m}^3$ 。沼液在运输过程中

的折损系数  $\theta$  根据经验选取 0.1。对沼液进行取样检测,经发酵和固液分离后的沼液原液中 N 含量为 4.1  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

由此,得到该沼气工程及其周边农业状况相关参数,如表 1 所示。

表 1 SBPGP 沼液资源化利用相关参数

Table 1 Related Parameters of Biogas Slurry Resource Utilization in the SBPGP

参数	$P$ /元· $\text{km}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$	$\theta$	$\tau$	$T/a$	$\varepsilon$	$\alpha$	$K_1$	$K_2$	$\eta$	$T_N$ / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$n$ / $\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$
数值	7	0.1	1.5	20	4932	0.7924	0.8	0.5	0.2	4.10	147.5

通过对  $R_{bsa}$  拟合得到保证氮平衡的条件下,该区域沼液资源化最小半径是  $R_{bsa} = 3.18\text{km}$ ,沼液消纳范围在 31.94 $\text{km}^2$  左右。由此可知,为消纳 SBPGP 在运行过程所产生的沼液资源,防止资源浪费和环境二次污染,需要在工程周边配置面积在  $R_{bsa} = 3.18\text{km}$  的土地对沼液进行消纳处理。此时沼液的资源化利用效率最高,沼液的经济消纳水平最高,种养循环效率最强,经济与农业的耦合作用最强,沼气工程在运行过程中可获得最大经济效益。

### 3 拟合结果验证

通过利用消纳区域内作物对 N 需求量对模型进行验证。消纳区域主要以梨、橘子和水稻为主要种植作物,也作为主要的 N 元素吸收源,分布状态如图 5 所示。



图 5 消纳区域 GIS 图

Fig. 5 Absorption area GIS map

根据田间调查的种植系数和收获系数,已知消纳区域内单位面积 N 元素需求量为  $n = 147.5\text{t}/\text{km}^2$ 。由田间土肥施用公式可以计算出若该区域完全由液提供氮资源,需要提供 115.12 万 t 沼液。

可以认为:在此条件下,沼液资源利用效率和经济消费水平最高,种植周期效率和经济与农业的耦合效应最强,沼气项目的运行能够获得最大的经济效益。

### 4 结论

1) 由资源化可行性研究数据,完善了沼气工程投资金额和处理规模之间的非线性关系,可为后续沼气工程经济性估算和完善沼气工程规划工作提供相应参考。

2) 对模型的拟合,得到  $R_{bsa}$  沼液经济性消纳模型。对沼气工程运行过程中所产生沼液的经济性消纳面积规划时,消纳范围满足  $R_{bsa}$ ,可得沼液的消纳效率最高,沼液的经济消纳水平最高,工程收益最大。通过分析模型可知:沼液经济性消纳半径主要与运输成本  $P$ 、沼液的 N 含量和道路弯曲系数  $\tau$  等工程规模系数具有较强相关性,当地农业生产状况和工程回收期等客观影响因素也会对  $R_{bsa}$  的选取有一定影响,但影响程度较小; $R_{bsa}$  的选取不依赖于工程投资金额和处理规模本身,而与其非线性关系有关。

3) 基于对江西省南英垦殖场规模化沼气发电工程(SBPGP)的沼液经济性消纳半径计算,判断出处理年出栏量在 40W 头生猪的沼气工程所产生的沼液,其消纳范围在 31.94 $\text{km}^2$  左右。

### 5 讨论

循环农业将会是未来农业发展的主要趋势,构建

高效的循环农业发展模式逐渐成为农业研究的重点,而沼液等处理养殖废弃物后的附属产物的高效处理一直是制约循环农业发展的源头。笔者以经济学为基础,结合工程操作手段,拟合沼液的经济性消纳模型,谋求一种高效的沼液处理方式,实现高效的资源化利用。沼液经济消耗量的计算与规划,加强了种植与养殖的关系,增进了种植业与养殖业之间的耦合作用,使循环农业的发展可以在经济性的指导下进行发展,为循环农业项目规划和经济性评价提供一定研究基础,利用农业经济手段加快了种植业与养殖业的循环一体化进程,在一定程度上丰富了农业经济学和农业环境科学的研究内容。沼气工程经济规律的拟合,完善了沼气工程经济学内容,为沼气工程经济评估和沼气工程建设规划提供了计算基础。

#### 参考文献:

- [1] Bai Z, Ma W, Ma L, et al. China's livestock transition: Driving forces, impacts, and consequences [J]. *Science advances* 2018 4(7): eaar8534.
- [2] Tullo E, Alberto F, Marcella G. Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy [J]. *The Science of the total environment* 2019 650: 2751 - 2760.
- [3] 魏莎,马林,江荣凤,等. 基于 NUFER 模型的生猪养殖氮磷利用效率及排放时空变化 [J]. *农业工程学报*, 2016, 32(13): 190 - 196.
- [4] 郑莉,张晴雯,张爱平,等. 山东省畜禽粪污土地承载力时空分异特征分析 [J]. *农业环境科学学报*, 2019, 38(4): 882 - 891.
- [5] 杨飞,杨世琦,诸云强,等. 中国近 30 年畜禽养殖量及其耕地氮污染负荷分析 [J]. *农业工程学报*, 2013, 29(5): 1 - 11.
- [6] Nicklas F, Gilles G, Dimitris A, et al. Sub-national TIMES model for analyzing future regional use of biomass and biofuels in Sweden and France [J]. *Renewable Energy*, 2013, 60(4): 415 - 426.
- [7] 刘晓永,李书田. 中国畜禽粪尿养分资源及其还田的时空分布特征 [J]. *农业工程学报*, 2018, 34(4): 1 - 14, 316.
- [8] 宋成军,张玉华,李冰峰. 农业废弃物资源化利用技术综合评价指标体系与方法 [J]. *农业工程学报*, 2011, 27(11): 289 - 293.
- [9] Umar M, Jennings P, Urme T. Generating renewable energy from oil palm biomass in Malaysia: The Feed-in Tariff policy framework [J]. *Biomass and Bioenergy*, 2014, 62: 37 - 46.
- [10] Zhang C, Liu S, Wu S, et al. Rebuilding the linkage between livestock and cropland to mitigate agricultural pollution in China [J]. *Resources Conservation and Recycling*, 2019, 144: 65 - 73.
- [11] 付强,诸云强,杨红新,等. 2002 - 2009 年中国规模化畜禽养殖量区域差异及政策建议 [J]. *农业工程学报*, 2012, 28(18): 185 - 191.
- [12] Gallego A, Calafat C, Segura Marina. Land planning and risk assessment for livestock production based on an outranking approach and GIS [J]. *Land Use Policy*, 2019, 83: 606 - 621.
- [13] 李伟,吴树彪,Hamidou B,等. 沼气工程高效稳定运行技术现状及展望 [J]. *农业机械学报*, 2015, 46(7): 187 - 196, 202.
- [14] 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.
- [15] 崔军. 循环经济理论指导下的现代农业规划理论探讨与案例分析 [J]. *农业工程学报*, 2011, 27(11): 283 - 288.
- [16] 沈玉君,张玉华,向欣,等. 农业废弃物资源化利用工程模式构建 [J]. *农业工程技术(新能源产业)*, 2013(6): 46.
- [17] 艾平,田启欢,席江,等. 产酸沼渣再利用稻秸两级联合产酸工艺研究 [J]. *农业机械学报*, 2019, 50(1): 292 - 298.
- [18] 郑绸,冉瑞平,陈娟. 畜禽养殖废弃物市场化困境及破解对策——基于四川邛崃的实践 [J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(3): 70 - 77.
- [19] 赵立欣,孟海波,沈玉君,等. 中国北方平原地区种养循环农业现状调研与发展分析 [J]. *农业工程学报*, 2017, 33(18): 1 - 10.
- [20] David C, Jia W, Tong Y, et al. Improving manure nutrient management towards sustainable agricultural intensification in China [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2015, 209: 34 - 46.
- [21] 潘瑜春,孙超,刘玉,等. 基于土地消纳粪便能力的畜禽养殖承载力 [J]. *农业工程学报*, 2015, 31(4): 232 - 239.
- [22] 彭里,王定勇. 重庆市畜禽粪便年排放量的估算研究 [J]. *农业工程学报*, 2004(1): 288 - 292.
- [23] 薄录吉,李彦,LUO J,等. 我国规模化养猪场粪便重金属污染特征与农用风险评价 [J]. *农业机械学报*, 2018, 49(1): 258 - 267.
- [24] Cui Z, Chen X, Zhang F. Current Nitrogen Management Status and Measures to Improve the Intensive Wheat - Maize System in China [J]. *Ambio* 2010, 39(5 - 6): 376 - 384.
- [25] Wang M, Ma L, Stokal M, et al. Exploring nutrient management options to increase nitrogen and phosphorus use ef-

- iciencies in food production of China [J]. *Agricultural Systems* 2018 ,163: 58 – 72.
- [26] Diep N , Fujimoto S , Minowa T , et al. Kinya Sakanishi , Nobukazu Nakagoshi. Estimation of the potential of rice straw for ethanol production and the optimum facility size for different regions in Vietnam [J]. *Applied Energy* ,2012 , 93: 205 – 211.
- [27] 马放 张晓先 ,王立. 秸秆能源化工程原料运输半径经济和环境评价[J]. *哈尔滨工业大学学报* 2015 47( 8) : 48 – 53.
- [28] Matthias G , Jutta G. Analysis of selected economic and environmental impacts of long distance manure transports to biogas plants [J]. *Biomass and Bioenergy* 2018 ,109: 71 – 84.
- [29] 吕硕 杨晓光 赵锦 等. 气候变化和品种更替对东北地区春玉米产量潜力的影响[J]. *农业工程学报* 2013 29 ( 18) : 179 – 190.
- [30] Huang H , Ramaswamy S , Waleed A , et al. Cairncross. Effect of biomass species and plant size on cellulosic ethanol: A comparative process and economic analysis [J]. *Biomass and Bioenergy* 2009 33( 2) : 234 – 246.
- [31] 吴进 闵师界 朱立志 等. 养殖场沼气工程商业化集中供气补贴分析. [J] *农业工程学报* 2015 31( 24) : 269 – 273.
- [32] 汤云川 张卫峰 马林 等. 户用沼气产气量估算及能源经济效益[J]. *农业工程学报* 2010 26( 3) : 281 – 288.
- [33] Wang C , Zhang Y , Zhang L , et al. Alternative policies to subsidize rural household biogas digesters [J]. *Energy Policy* 2016 93: 187 – 195.

## Integrated Planting and Breeding System Biogas Slurry Resource Utilization Analysis of Based on Nitrogen Balance

Liu Hanxiao<sup>1</sup> , Guan Zhengjun<sup>1</sup> , Mai Chong<sup>1</sup> , Gao Lihong<sup>2</sup> , Yin Heng<sup>1</sup>

( 1. College of Engineering and Technology , Southwest University , Chongqing 400715 , China; 2. Chongqing Academy of Agricultural Sciences , Chongqing 401329 , China)

**Abstract:** In order to promote the process of biogas slurry resource utilization , improve the utilization efficiency and economic benefits of agricultural waste recycling , promote the integrated development of planting and breeding cycle and improve the ecological environment. In this paper , waste utilization mode of agriculture , based on Breakeven Analysis and straw resource utilization model , biogas slurry economic absorptive radius is taken as the core , it explores the relationship between biogas project investment amount and processing scale is explored , and Biogas slurry economic absorptive mode is proposed. Research indicates , the relationship between investment amount and processing scale of biogas project is strong (  $R^2 = 0.9842$  ) . The main influencing factors selected by  $R_{bsa}$  are transportation cost P and N content in biogas slurry. The difference in the agricultural production coefficient from the selection of different absorption areas will also affect the assessment of the economic absorption radius. Estimation of the biogas slurry economical absorption radius of the Scale biogas power generation project of Jiang xi nan ying ( SBPGP ) , under the guarantee of nitrogen balance , the minimum digestion range of its biogas slurry is about 31.94km<sup>2</sup>. And verify the crop N demand in the consumption area , which is consistent with the fitting results. And verify the crop N demand in the consumption area , which is consistent with the fitting results. The construction of biogas slurry economical consumption model strengthens the relationship between planting and breeding , and promotes the development of circular agriculture. Provide complete economic guidance for the development planning of circular agriculture. Fitting the economic laws of biogas projects , improving the economic content of biogas projects , and providing guidance for the economic evaluation of biogas projects and the construction planning of biogas projects. This is a good attempt to combine agricultural engineering development with social and economic development.

**Key words:** biogas slurry absorptive; breakeven analysis; biogas slurry resource utilization model; economic absorption radius; farming cycle