



农业政策简报



沼气生产

中德两国情况对比



Deutsch-Chinesisches Kooperationsprojekt
für nachhaltige Tierzucht und Tierhaltung

中德畜牧业可持续发展合作项目



农业政策简报



作为“中德畜牧业可持续发展合作项目”的一部分，根据项目目标，以书面建议的形式，为四个主题领域中的每个领域提交两份行动建议（政策简报）。将其引入中德农业中心，尤其是项目执行伙伴全国畜牧总站的农业政策对话中。“农业政策简报”系列以集中的形式，就四个主题领域的政治行动需求提出了建议：

- 生物安全及动物标识体系（企业生物安全，创建动物标识体系）
- 创新育种技术（加强牛育种，扶持建立皮特兰种群）
- 适合动物生长与生产性能发挥的营养饲喂系统（适合动物的养殖系统，降低抗生素用量和饲料种植与收割技术）
- 环境和气候承载力（降低异味和温室气体排放，粪污处理，加强营养物质循环利用）

这些政策简报介绍了德国和中国在动物疾病预防、兽医培训、牛养殖、动物福利、减少抗生素使用和畜牧业可持续能源生产等方面的情况。旨在展示两国如何在本国范围内应对和克服各种挑战，以及哪些机制也可在中国加以整合。

遵照德国联邦议院的决议，由



联邦
食品和
农业部

资助



中华人民共和国农业农村部
Ministry of Agriculture of the
People's Republic of China



被委托方: GFA农业技术咨询有限公司
General Agent: GFA



全国畜牧总站
National Animal Husbandry Service (NAHS)



德国ADT国际项目管理与咨询公司
ADT Project Consulting GmbH

简报简介

本简报重点分析了从粪污和粪便等动物残留物中提取沼气的生产、潜力和使用情况，尤其是在德国和中国的农业部门。分析了沼气的生产能力、经济背景及其与能源系统的整合，同时比较了沼气、光伏发电、风力发电和水力发电解决方案。涉及并介绍了以下主题：

- 德国和中国利用动物残留物（如粪便）生产沼气的基本适用性和能力
- 从经济角度对沼气生产进行分类
- 向下游行业销售沼气
- 沼气生产的基本优缺点
- 德国与中国的差异
- 前瞻性项目

政策简介 - 农业沼气生产

中德两国情况对比

报告员：约克·奥登伯格教授，21734 奥德夸特

中德畜牧业可持续发展合作项目（第三阶段 - PN: CHN 22-01）

目录

1	生产能力	5
1.1	不同情况下的沼气生产潜力	5
1.2	沼气生产一般适用于大型养殖场的舍饲饲养	6
1.3	动物养殖中沼气生产的潜力	7
2	比较和分类，沼气，光伏和风力及水力发电	9
3	开放性问题 and 项目方案	11
3.1	粪水的预排水	11
3.2	堆肥对比沼气生产	11
3.3	中国和德国的动物存栏量和沼气生产潜力	11
4	总结	12

1 生产能力



2 不同情况下的沼气生产潜力

不同情况下的产气量与很多因素有关。一方面体现在沼气生产过程的质量上：对于稳定的生产过程，需要一个稳定的和保持不变的底物温度，特别是在室外温度剧烈变化以及在处于极低温度的漫长冬季，原则上如中国的大部分地区（在德国由于海湾洋流的影响，只在海拔较高的地区有冬季漫长和气温极低的情况）。必要的是，在很长的霜冻期，通过发酵罐的隔热，使得发酵罐的热损失尽可能减少，以及通过加热发酵罐，使得底物温度达到待发酵底物用于生化转化的最佳温度，从而尽可能地使产气量达到最大。

不同情况下的产气量与发酵有机干物质的含量有关。原则上适用于：当饲料满足动物需求时，饲料利用率和营养物质利用率会升高。根据经验，每一个饲料配比都或多或少不是最优的配方，因为饲喂的基础饲料是天然产品，由于作物生长条件，收获条件，贮存和加工质量的不同，它们的成分组成会有所变化。

粪水和粪便发酵的优势如下，在饲料利用欠佳的情况下，在将残余物用作经济肥料施洒前还可以利用其剩余的高的营养物质含量进行能量生产。

表格 1:产气量的标准值

底物	说明/特点	干物质%	干物质中的有机干物质%	沼气产气量 m ³ 氮/吨有机干物质	甲烷含量%
经济肥料					
禽粪	与秸秆/固体粪便比例有关	40	75	500	55
牛粪	很少被贮存	25	85	450	55
牛粪水	有剩余饲料	10	80	380	55
猪粪水	-	6	80	420	60
底物来自再加工和有机剩余物 ¹⁾					
生物垃圾 ²⁾		40	50	615	60
土豆渣	酒精生产	6	85	670	54
谷物渣	酒精生产	6	94	700	55
谷物垃圾	-	88	85	650	56
甘油	纯度 99% = 1.3 kg/l	100	99	850	50
菜籽饼	15%油渣含量	92	87	660	60
剩饭	-	16	87	680	60

1) KTBL (2005): 整数沼气, 根据数据收集进行修订

2) 生物垃圾和剩饭的标准值由大量不同来源的数据组成; 个别情况下, 实际的产气量与上表中所给出的标准值有很大差距。

来: KTBL Faustzahlen Biogas, 2. 版次, 摘要, 删减

2.1 沼气生产一般适用于大型养殖场的舍饲饲养

对于粪水和固体粪便能量的利用, 一般情况下, 粪水和固体粪便的量需达到技术可管理的以及可自动化操作的量。因此以下排泄物不计入可用于能量生产的粪水和固体粪便范畴, 如动物排泄在草地上的粪便, 以及在很少情况下, 动物频繁地排泄在畜舍附近运动场上的粪便。

因沼气设备在建设和经营上的技术消耗需遵循一定的最低的技术要求, 特别是针对一些冬季严寒的地区, 最少的粪水和固体粪便的量需达到沼气设备运作要求的最低粪污量, 此处提及的粪污指位于沼气设备所在地点的粪污或者粪污距沼气的距离很短, 在此距离上运输粪污是经济可承受的。一般情况下, 规模很小的牧场以及存栏量很少的宠物饲养场不能达到最低粪污量的要求。因此, 在德国, 例如动物的存栏量需大约达到220头奶牛, 包含后备母牛, 此养殖规模是一个经济牧场配备沼气设备的最小规模(即粪

水每天 18–20 m³, 3–4 吨固体粪便, 即每年产生 6,500–7,300 立方米的粪水和 1,100–1,500 吨的固体粪便。

2.2 动物养殖中沼气生产的潜力

在 2021 年 8 月 10 日出台的德国粪污规定附件 9 中的第 12 节, 表 1 畜牧动物饲养中的粪肥产量(吨/头动物或 m³/头动物)中提及。在不考虑圈舍中产生的清洁用污水的情况下, 表格中提及的值包含不同生产和性能水平下动物的粪污产量。

表 2: 不同动物物种的粪水和固体粪便的产量

	物种	生产方式		垫料	每年每头动物占地面积内粪污产量		
					新鲜粪便	粪水	尿液
				kg 鲜物质 ²⁾ 每头动物每天	吨 ²⁾ /动物占 地面积	m³/动物占地 面积	m³/动物占地 面积
1	牛养殖						
1.1	奶牛，全年舍饲	耕地饲料 草场	10.000 kg ¹⁾	5,0	16,0	21,0	6,8
1.2	犊牛培育 0-16 周， 每年三次犊牛培育 ²⁾		增加 90 kg/动 物	3,0	3,7	3,0	0,4
1.3	青年牛培育，初产年 龄 ²⁾ 27 个月		增加 605 kg/ 动物	3,0	8,0	9,3	2,4
1.4	奶牛和后备母牛， 10,000 kg	存栏量 1 头奶牛，0.4 头犊牛， 0.35 头头胎牛		7,2	20,3	25,5	7,8
1.5	公牛育肥	体重达到 700 kg，从犊牛体重 为 45kg 起开始育肥		1,0	4,6	7,3	3,0
2	猪养殖						
2.1	猪育肥	28-118 kg 体重	日增重 850 g	0,5	1,1	1,5	0,6
2.2	母猪和仔猪培育	体重至 28 kg	每年每头母猪 可生产 28 头 断奶仔猪	3	5,5	7,0	2,6
3	禽养殖			每年每 1,000 只禽养殖占地面 积			
3.2	蛋鸡饲养	每年 17.6 kg 蛋产量		1.220	22,0	-	-
3.2	仔鸡育肥	育肥>39 天，每只仔鸡增加 2.6 kg		570	11,8	-	-

¹⁾ 生产性能根据每年生产的能量校正乳 (ECM) 计算 (4% 乳脂, 3.4% 乳蛋白, 每年 0.9 头 犊牛) 以 kg 计。

²⁾ FM=鲜物质, t=吨, DG=培育周期, m³=立方米, EKA=初产年龄, LM=体重

来源: 2021 年 8 月 10 日出台的德国粪污规定, 附件 9 中的第 12 节, 表 1, 摘要, 删减

上述数值以在圈舍 6 个月的饲养时间计算或者必须转化为 6 个月来计算, 通过上述表格中的数值可以大概了解不同物种和不同生产方式下粪污产生的潜力。随后, 关于猪, 奶牛饲养, 肉牛育肥, 鸡蛋生产, 肉鸡育肥的基本生产方向上的数据将会被摘要性地提及, 中国的大型养殖场如果认为以下数据是适合的, 可以参考。

表 3： 从表 1 和表 2 中提及的数值可以得出以下示例性的沼气生产潜力的数据：

生产	动物存 栏量	粪水	固体 粪便	产气量 每吨有 机干物 质	产气量	甲烷 含量	甲烷生产	总能量 ¹	热电联 产厂 8200 小时 ²⁾	净电能 ³	可利用 净热量 ⁴
		m ³ 每年	吨 每 年	m ³	m ³ 每年	%	m ³ 每年	千瓦时 每年	千瓦	千瓦时 每年	千瓦时 每年
奶牛	1,000	25,500		380	775,200	55	426,360	4,251	208	1,564	1,785
母猪和育 肥猪	1,000 8,000	7,000 12,000		420	383,040	60	229,824	2,291	112	843	962
蛋鸡	100,000		2,200	500	330,000	55	181,500	1,810	88	666	760
育肥仔鸡	100,000		1,180	500	177,000	55	97,350	970	47	357	408

计算方法（数据来自表 1 和表 2）

1. m³ 粪水或吨 固体粪便 * 干物质含量 = 吨 干物质
2. 吨 干物质 * 有机干物质占比 (%) = 吨 有机干物质
3. 吨 有机干物质 * m³ 氮/吨 有机干物质 = m³ 沼气产量
4. 沼气产量 m³ * 甲烷含量 (%) = m³ 甲烷产量
5. m³ 甲烷 * 能量含量 (9.97 千瓦时/m³) / 1,000 = 兆瓦时 能量产量
6. 兆瓦时 能量产量 * 效率 热电联产厂 (效率 40%) = 兆瓦时电能，扣除自用电需求~8%
7. 兆瓦时 能量产量 * (100 - 效率 热电联产厂 (效率 40%)) = 兆瓦时 可利用热量潜力，扣除发酵罐加热~总热量的 30%

说明：

- 1) 可生产的总能量 1. 只有热能或 2. 电能和热能，不包含泵，调节和内部供暖所用的能量
- 2) 安装发电的热电联产厂-功率 (40% 电效率，60%热效率，每年 8,200 小时的使用时间)
- 借助热电联产厂，对于发电，生产电能的效率为 40%，发酵罐自身的能量消耗占生产总电能的 8%（来源：<https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen> - 可再生材料专业机构给出的数据平均值为 7.6%）。
- 4 电能生产效率是 40%，产生热量的 30%用于发酵罐自身加热（来源：<https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen> - 可再生材料专业机构给出的数据平均值为 28%）。

3 比较和分类，沼气，光伏和风力及水力发电



原则上，沼气有三种不同的利用方式.

1. 在德国通常利用电能和废热进行热电联产。在此系统下，热电联产厂中的沼气全部转换为电能，生产出的电能将被输入公共电网，在此期间产生的余热，根据电效率为总能量的 40%，对于新的发酵设备，余热为总能量的 60%，这些余热用于发酵罐的加热以及用于供暖。通常情况下，如果沼气发酵的余热用于供暖，那么每千瓦可以得到额外两欧分的补贴。在过去，通过这种补贴的方式，在德国利用沼气设备产生的余热进行供暖是可以保本经营的。在中国，能量生产给予公共资金供给的模式不是众所周知的。所谓的热电联产的方式是指热电联产厂建在沼气发酵站附近并投入使用。在此种情况下，沼气站需自行经营热电联产厂，沼气发电产生的余热用于发酵罐的加热，此用于发酵罐加热的余热量需至少满足发酵罐所在地区可预测的所有气象技术条件下发酵过程中所需的过程热要求。当发酵罐加热所需的热量约为余热的 30% 时，那么所生产沼气的 70% 可用于其他地区的发电。此时，需要安装地下管道用于将沼气从沼气站运送至不同的热电联产厂。安装更长的地下管道如几公里的管道是没问题的，因为相比于供暖管道，其能量损失与

管道长度有关，气体运输在正常运作的情况下是没有此种能量损失的。温度低的土壤使沼气冷却，从而在管道内产生冷凝水，由此使沼气干燥。

2. 最近在德国，越来越多的沼气设备被改装为可以并入国家燃气管网的沼气供应设备。这项措施可以通过出售二氧化碳证书来促进。技术方面，气体洗涤是必需的，目的是在沼气并入国家燃气管网前对其进行干燥以及将在沼气生产过程中随着甲烷的产生伴随产生的二氧化碳分离出来。气体洗涤的技术和经济方面的支出相对来说较高。因此需要电能用于提高甲烷的气压，使其并入公共燃气管网。
3. 不同于德国，在中国使用最广的是直接将沼气并入低压燃气管网，用于地区性的气体供应，如做饭和供暖。

沼气生产需要一个进料相对均匀的发酵罐，使得生化过程可以均匀地维持在尽可能高的转化水平上。相应地，沼气生产量在一般的沼气发酵设备中应总是相对均匀的。一天内产生沼气的一部分可以根据储存体积的大小储存在设备中。沼气的生产和利用时间是不一样的，人们可以控制生产电能的时间。在一般的热电联产厂，可以调节发电时间从 1 小时至 24 小时。例如，为了可以在此时间段内根据负荷曲线的变化来调节是否生产电能，并且白天的 12 个小时不发电，那么可调节的热电联产厂发电机的发电能力必须是持续运转模式的热电联产厂的两倍。在一般的热电联产厂，每产生 1 千瓦时的电能需要更高的维修成本。通过出售电能达到成本的回收。这是一种在德国广泛采取的措施，目前在中国还没有此项措施。在中国，目前普遍的电费显著低于德国，同时相比于在德国通过沼气设备发电可回本的企业来说，目前中国的电费也是显著低于德国企业的。当有关通过过量的风力发电和太阳能发电产生不稳定电能的议题产生比现在更广泛的影响时，上述情况可能会改变。在中国，当白天用电量增加时，通过沼气发电可以回本的可调节发电时间的热电联产厂对经营者也有吸引力。原则上，沼气设备和热电联产厂可以快速进行额外电能的生产，会受到高峰负荷的限制（提示词：峰值负荷电厂），由于限制的沼气储存量，通常情况下，可生产一昼夜所需电量。除水库的水力发电，沼气发电不仅有基本负荷能力，同时也可以当做附加的调节能源来使用。

沼气生产和通过热电联产厂发电，电能流入跨区域的控制中心，适用于乡村地区，用于提供稳定的电能。这在利用风力设备和光热太阳能发电机发电上是不能实现的。

4 开放性问题 and 项目方案

4.1 粪水的预排水

在借助沼气设备进行能量有效利用方面，特别是猪粪水（经常）含有很少的干物质：相较于禽粪便或者牛粪水，猪粪水的反应体积必须显著提高，因此需要更大容积的发酵罐，由于发酵罐体积的增加，热损失也会随之增加。利用猪粪水生产沼气达到经济有效地利用通常是不可能的。如果猪粪水中含有的可利用的干物质含量明显增高时，那么需另作评估。需要检验的是，使用何种方法，何种结果和成本，预排水才是可行和有意义的。根据过滤和处理程度，可以将液相作为灰水用于畜舍的清洁，用于灌溉，或者作为可排放水从系统中排出，再排放至地下水中。如果水处理可以达到可接受的饮用水质量，那么处理后的废水也可以作为动物饲养的饮用水使用。

预排水除了可以改善沼气生产中的收益效应，同时动物饲养过程中新鲜水的需求量更少，沼渣的运输成本也相应减少。可持续性是一大步。必须开发并检验成本低的固体物质和水分的分离方法。

4.2 堆肥对比沼气生产

原则上，可以利用固体粪便和粪水（粪水与含碳的载体介质混合，如谷物秸秆及类似的残余物）生产堆肥。与沼气生产不同，有机物质的一部分会在需氧的条件下进行转化。通过部分底物的分解会排放二氧化碳和水蒸气。通常情况下，有机物质的能量利用是不可能的。

通常，通过堆肥过程中的氧化，生产出几乎没有气味的堆肥，由于在此期间有机物质的转化，使得堆肥在中国成为很受欢迎的作物肥料。

需要检测的是，是否已将从沼气设备中排出的腐烂的沼渣分离出来，沼渣中的固体物质是否可以通过进一步的处理用于堆肥生产。根据碳氮比是可行的。

4.3 中国和德国的动物存栏量和沼气生产潜力

通过粪水，固体粪便和剩余饲料生产沼气的潜力取决于饲养动物的物种。对于潜力的评估存在数据收集障碍，尽管国家针对动物存栏量有大概的估计值，但是有关动物存栏量以及可利用的粪水，固体粪便和剩余饲料方面的数据较少，因此很难评估出可生产的沼气的量。由于上述原因，可以针对中国畜舍沼气生产潜力开展可行性研究，可通过收集现有有关存栏量大小和结构的数据展开研究。

5 总结

利用动物饲养中的残余物进行沼气生产是经济和生态有意义的社会政策方案，通过动物饲养生产沼气，不需要将残余物额外地集中起来，根据圈舍的大小，决定是否需要额外添加其他类别的发酵底物，动物饲养生产沼气的潜力很大，可控制一昼夜生产的电能和热能的量。由于更加复杂的设备技术，电能的单一生产成本相对较高，但仍然还是有意义的，因为可调节发电时间且产电稳定；特别是在农村地区，沼气发电可以与太阳能和风能发电联合起来使用。

发酵完的底物，相较于粪水或粪便，气味明显减少，对于人们来说接受度较高。

需要阐明的挑战如下：

- 发酵完的底物是否可以用于堆肥生产
- 特别是针对粪水，预排水是否有益于沼气发酵过程
- 评估对发酵后的沼渣进行排水是否有优势

根据技术和经济的角度评估沼气发酵的潜力，包含发酵设备的设计方面和发酵罐的建造位置是否影响周围居民的生活。