农 业 行 业 标 准

《农业废弃物联合厌氧处理技术规范》

（征求意见稿）

编制说明

《农业废弃物联合厌氧处理技术规范》编制组

2025年 3月

目 录

[一、工作简况 1](#_Toc190855260)

[（一）任务来源 1](#_Toc190855261)

[（二）制定背景 1](#_Toc190855262)

[（三）起草过程 2](#_Toc190855263)

[1. 起草阶段 2](#_Toc190855264)

[2. 征求意见阶段 3](#_Toc190855265)

[3. 审查阶段 4](#_Toc190855266)

[4. 报批阶段 4](#_Toc190855267)

[二、标准编制原则、主要内容及其确定依据 5](#_Toc190855268)

[（一）编制原则 5](#_Toc190855269)

[（二）主要内容及其确定依据 5](#_Toc190855270)

[1. 范围 5](#_Toc190855271)

[2. 规范性引用文件 6](#_Toc190855272)

[3. 术语和定义 6](#_Toc190855273)

[4. 基本原则 6](#_Toc190855274)

[5. 联合处理工艺路线 6](#_Toc190855275)

[6. 原料贮存要求 7](#_Toc190855276)

[7. 预处理工艺选择 9](#_Toc190855277)

[8. 物料调配与进料 10](#_Toc190855278)

[9. 联合发酵过程调控 11](#_Toc190855279)

[10. 产物分析利用与效果评价 13](#_Toc190855280)

[三、主要试验或验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益 14](#_Toc190855281)

[（一）主要试验或验证的分析、综述报告 14](#_Toc190855282)

[（二）技术经济论证、预期的经济效益和社会效益及生态效益 15](#_Toc190855283)

[四、与国际同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况 15](#_Toc190855284)

[六、与现行的有关法律、行政法规及相关标准的关系 15](#_Toc190855285)

[七、重大分歧意见的处理经过和依据 16](#_Toc190855286)

[八、涉及专利的有关说明 16](#_Toc190855287)

[九、实施标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议 16](#_Toc190855288)

[十、其他应予说明的事项 16](#_Toc190855289)

# 一、工作简况

## （一）任务来源

本标准来源于农业农村部科学技术司，标准主要起草单位是中国农业大学。由中国农业大学段娜主持承担《农业废弃物联合厌氧处理技术规范》农业行业标准制定任务，本标准由农业农村部农业资源环境标准化技术委员会技术归口，标准起草首席专家为段娜教授。

## （二）制定背景

我国是农业大国，现代化农业发展的同时伴随着大量的农业废弃物的产生，加剧了农业面源污染。据 2017 年中国统计年鉴，我国农业废弃物总量达 48 亿吨，但其综合利用率不到70%。在众多农业废弃物处理技术中，厌氧发酵技术是商业化应用最为广泛且具有较大潜力的处理技术之一，能够实现农业废弃物的有效处理，并获得优质的肥料资源。畜禽粪便、秸秆由于有机物含量高、资源化潜力大等特点而成为了厌氧处理技术应用最为广泛的原料。

单一原料进行厌氧处理，存在着营养物质不均衡、有机负荷低、容易产生抑制、处理效果差等问题。近年来，联合厌氧处理成为了近年来关注的重点，并在全球范围内受到了广泛关注和应用。在我国，随着粪污资源化利用、秸秆综合利用等政策以及有机肥替代化肥、农业面源污染治理相关行动的推行，建设了多个农业废弃物集中处理中心。其中，联合厌氧处理技术不仅减轻了单一原料稳定供应的压力，同时更有利于当地农业废弃物的综合管理和有效利用，最大限度地实现农业废弃物污染的治理及资源化利用。农业废弃物涵盖了畜禽粪便、农作物秸秆、果蔬废弃物等。原料种类繁多，成分差异较大，再加上区域、地理、气候等的显著差异，致使不同的农业废弃物厌氧集中处理工艺技术与工程应用呈现多样化发展态势。而目前我国尚缺乏统一的农业废弃物联合厌氧处理技术规范，造成该类工程在实际运行中无据可依，运行效果参差不齐。

标准起草团队自“十一五”期间开始从事农业废弃物处理技术相关的研究工作，开展了农业废弃物特性、配比、预处理、过程预警与调控、效果评价等方面的实验室与现场研究，在农业废弃物处理与综合利用技术方面积累了丰富的研究和应用经验。起草团队基于多年农业废弃物处理技术的研究基础，并结合实地调研数据，制定《农业废弃物联合厌氧处理技术规范》，为农业废弃物处理与综合利用工程提供技术标准与指导。

## （三）起草过程

### 1. 起草阶段

（1）成立起草小组

本标准由中国农业大学牵头组织，中国农业科学院农业资源与农业区划研究所及沼气科学研究所 、三河市盈盛生物能源科技股份有限公司等单位共同起草，参与本标准编制的人员及分工见表1。

表1 标准编制小组人员及分工

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **姓名** | **性别** | **职称** | **主要职责** | **单位** |
| 段娜 | 女 | 教授级高级工程师 | 负责人，标准具体编制 | 中国农业大学 |
| 林聪 | 女 | 教授 | 技术筛选，标准具体编制 | 中国农业大学 |
| 刘宏斌 | 男 | 研究员 | 技术筛选，标准具体编制 | 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 |
| 梅自力 | 男 | 研究员 | 技术筛选，标准具体编制 | 中国农业科学院沼气科学研究所 |
| 李明新 | 男 | 董事长 | 技术实施效果分析 | 三河市盈盛生物能源科技股份有限公司 |
| 冉毅 | 男 | 高级工程师 | 参与标准编制 | 中国农业科学院沼气科学研究所 |
| 潘君廷 | 男 | 副研究员 | 参与标准编制 | 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 |
| 刘志丹 | 男 | 教授 | 参与标准编制 | 中国农业大学 |
| 贺莉 | 女 | 高级工程师 | 参与标准编制 | 中国农业科学院沼气科学研究所 |
| 司哺春 | 男 | 副教授 | 参与标准编制 | 中国农业大学 |
| 王琦璋 | 男 | 总经理 | 技术实施效果分析 | 三河市盈盛生物能源科技股份有限公司 |
| 马继涛 | 男 | 副总经理 | 技术实施效果分析 | 三河市盈盛生物能源科技股份有限公司 |
| 周嘉良 | 男 | 博士研究生 | 现场调研，参与标准编制 | 中国农业大学 |
| 陈锐 | 男 | 硕士研究生 | 现场调研，参与标准编制 | 中国农业大学 |
| 郑鑫 | 男 | 硕士研究生 | 现场调研，参与标准编制 | 中国农业大学 |
| 屈安安 | 女 | 硕士研究生 | 现场调研，参与标准编制 | 中国农业大学 |

（2）国内外相关资料收集与调研

系统查阅国内外农业废弃物联合厌氧发酵各类技术的实施效果及评价方法的相关文献资料，总结国内外关于农业废弃物联合厌氧处理方面的相关工作成果。整理分析相关数据，进一步校核农业废弃物联合厌氧处理技术环节和研究结果并进行汇总分析。

在我国典型区域各选取 2-4 个已经启动实施农业废弃物联合厌氧处理技术的农业废弃物集中处理项目进行实地调研，与实施单位的相关人员进行交流，在以上基础上初步整理形成农业废弃物联合厌氧处理技术方案。

（3）标准初稿

起草完成《农业废弃物联合厌氧处理技术规范》初稿。在整理形成的农业废弃物联合厌氧处理技术方案基础上，根据规范要求，形成《农业废弃物联合厌氧处理技术规范》初稿和编制说明。

（4）标准征求意见稿

邀请科研院所相关领域内专家及实施农业废弃物联合厌氧处理项目的有关技术人员等，对已经起草的《农业废弃物联合厌氧处理技术规范》初稿和编制说明进行深入研讨，进一步修改完善标准框架和技术内容，完成对初稿和编制说明的修订，形成《农业废弃物联合厌氧处理技术规范》（征求意见稿）。

### 2. 征求意见阶段

（综述征求意见对象，以及采纳、未采纳、部分采纳的意见处理情况、网上公开征求意见及处理汇总等）

### 3. 审查阶段

（预审及技术审查会的情况以及专家意见的处理等情况；未到审查阶段的不写本部分）

### 4. 报批阶段

（审查专家意见处理及报批稿形成情况；未到报批阶段的不写本部分）

# 二、标准编制原则、主要内容及其确定依据

## （一）编制原则

本标准的编写依据GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》，严格遵循国家有关方针、政策、法规和规章，严格执行国家标准、农业行业标准，与同体系标准及相关的各种基础标准相衔接，确保标准的科学性、实用性、规范性和协调性。

（1）科学性

本标准属于技术规范，对农业废弃物联合厌氧发酵具有指导性，在标准编制过程中坚持以科学和实践为准则，确定各项指标要求，避免出现偏差。

（2）实用性

我国地域广阔，本标准充分考虑了不同地区畜禽粪便产出状况和周边农作物秸秆种类，兼顾生产环境因素、经济、技术发展水平，确保合理性和可行性，使本技术规范可操作、能落地，具有普适性。

（3）规范性

本技术标准主要综合了行业近年来主推应用技术和最新科研成果，在技术规范的征求意见稿和送审稿的编制过程中，力求做到技术内容的叙述正确无误，文字表达准确、简明易懂；技术规范层次划分清晰，构成严谨合理；内容编排系统且符合逻辑。

（4）协调性

与GB/T 27622《畜禽粪便贮存设施设计要求》、NY/T 2853《沼气生产用原料收贮运技术规范》、NY/T 3614《能源化利用秸秆收储站建设规范》、GH/T 1270《秸秆收储运体系建设规范》等农业废弃物收储运相关标准和NY/T 1220.1《沼气工程技术规范 第1部分：工程设计》、NY/T 3896《生物天然气工程技术规范》、GB/T 51063《大中型沼气工程技术规范》等传统单一原料沼气工程的相关标准相衔接，在此基础上结合我国目前农业废弃物联合厌氧处理现状作出相应补充完善。

## （二）主要内容及其确定依据

### 1. 范围

本文件规定了农业废弃物联合厌氧处理技术的基本原则、联合处理工艺路线、原料贮存要求、预处理工艺选择、物料调配与进料、联合发酵过程调控及效果评价。本条也规定了标准适用范围。

### 2. 规范性引用文件

本标准中明确引用了17个标准文件。

### 3. 术语和定义

本标准共涉及3个术语：农业废弃物、联合厌氧处理和协同效应。本标准中农业废弃物作为联合厌氧发酵的原料，因此本标准定义了农业废弃物的概念与范围。联合厌氧处理和协同效应为该技术规范的关键概念。

### 4. 基本原则

4.1 因地制宜

充分考虑农业废弃物种类、特性与总量、运输距离、原料供给稳定性等因素，因地制宜选择适宜的联合厌氧发酵原料与工艺。

4.2 规范生产

从原料分区分类贮存、科学配比、过程监测与调控等多环节规范生产过程，确保联合厌氧发酵高效、稳定运行。

### 5 工艺路线

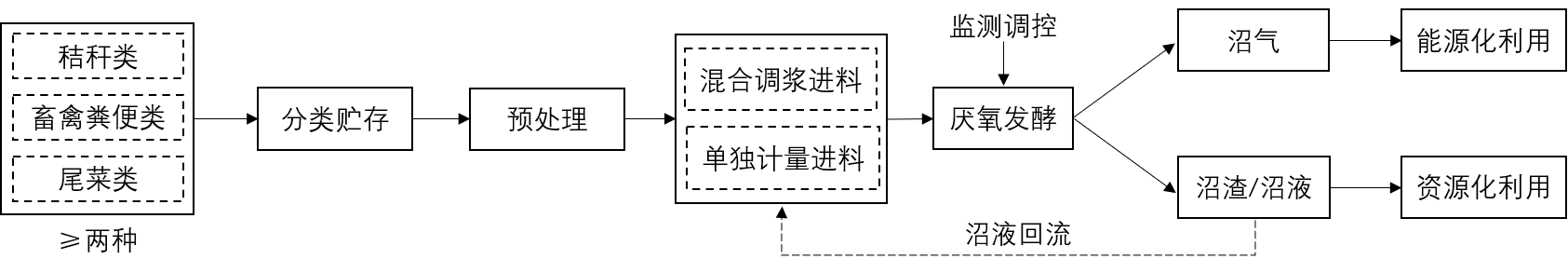


图1 农业废弃物联合厌氧处理工艺路线图

本条规定了农业废弃物联合厌氧处理的工艺路线。经过文献总结和多方实地调研，农业废弃物联合厌氧处理的工艺路线为原料分类贮存、预处理、配比进料、厌氧发酵、产物分离及利用。设置原料贮存环节是考虑到农业废弃物产出的季节性特点。原料预处理是厌氧发酵前的必要步骤，一方面是为了提高原料的可降解性进而提高沼气产量(Yu et al., 2019)，另一方面是为了让不同原料能够更充分地混合均匀从而达到更高的协同效果(Ebrahim, 2017)。发酵罐进料方式有两种，一种是各原料每天定量进料，不同原料在发酵罐内混合均匀发酵，另一种是多种原料按比例混合均匀后再进料。在发酵过程中要进行多元指标的在线监测，并根据监测数据判断发酵状态正常与否并及时作出相应的调控。发酵结束后，要进行产物分离，即分为沼渣、沼液与沼气，并分别进行资源化或能源化利用。

### 6 原料贮存要求

6.1一般要求

6.1.1本条规定了联合发酵厂区原料贮存的基本要求。

联合发酵原料的生产具有季节性特点，有时多有时少，需要设置原料贮存环节。而不同种类的原料其特性差异巨大，并考虑到后续的联合发酵需要精准配料，因而需要将不同原料分区分类贮存。

6.1.2本条规定了原料贮存场所的容积要求。

原料贮存场所过大会浪费土地空间资源，而过小则会影响沼气工程的正常生产，因而需要根据联合发酵工艺、原料特性、收集周期等因素合理设置，应以满足持续性供给为准。

6.1.3本条规定了原料贮存场所安全防护的基本要求。

贮存场所应具备安全防护设施，其建设标准参照NY/T 2853《沼气生产用原料收贮运技术规范》执行。

6.1.4本条规定了原料贮存场所的日常管理要求。

为了强化原料进出管理，需要建立原料进出台账制度，每一次进料和出料要做好记录，并定期检查和标定计量设备。

6.2秸秆类

6.2.1本条规定了秸秆贮存的主要方式。

秸秆贮存的主要方式有堆垛、压窖等，干秸秆一般堆垛贮存，而鲜秸秆一般采用压窖方式贮存(任海伟等, 2014)。

6.2.2本条规定了秸秆堆垛场所的防火要求。

堆垛秸秆干燥易燃，需特别注意明火与火星，应远离电线、变电站、锅炉等，与其他环境敏感点距离参照NY/T 2853《沼气生产用原料收贮运技术规范》执行。秸秆堆垛场所照明设备应带有安全防护罩，电器的使用均应注意防火，以免引燃堆垛秸秆。

6.2.3本条规定了秸秆堆垛规格尺寸及日常巡护的要求。

秸秆堆垛的规格尺寸及日常巡护参照GB/T 42118《秸秆收储运体系建设规范》执行。

6.2.4本条规定了秸秆压窖池的建设要求。

秸秆压窖池的规格与建设可参照NY/T 2853《沼气生产用原料收贮运技术规范》执行。

6.3畜禽粪便类

6.3.1本条规定了畜禽粪便贮存池的建设要求。

畜禽粪便贮存池材质、规格以及相关设施建设应符合GB/T 27622《畜禽粪便贮存设施设计要求》的要求。

6.3.2本条规定了畜禽粪便贮存池的管理要求。

畜禽粪便贮存池的密封措施、气体处理、卫生防疫以及日常清理维护参照NY/T 2853《沼气生产用原料收贮运技术规范》执行。

6.3.3本条规定了畜禽粪便贮存时间的要求。

根据沼气工程生产实际需要，畜禽粪便贮存池的容积应至少满足2天的用量存储。此外还应视环境温度而定，温度越高贮存时间应越短，以免有机质损失及恶臭气体的扩散(凌世东, 2023)。

6.4尾菜类

6.4.1本条规定了尾菜分类分区贮存的要求。

尾菜按其水分高低通常分为干尾菜与湿尾菜，不同种类的尾菜具有不同的理化特性，因而需要分类分区贮存，以实现差异化管控与处理。

6.4.2本条规定了尾菜贮存场所的建设要求。

湿尾菜因含水率大，其渗水性质相当于畜禽粪便，因而其贮存池可参照畜禽粪便贮存池设计建造。干尾菜贮存场所应确保地面硬化且应具备防渗防雨条件。

6.4.3本条规定了尾菜贮存场所渗滤液收集系统的建设要求。

尾菜贮存场所渗滤液收集系统的建设应参照GB/T 26624执行。

### 7 预处理工艺选择

7.1本条规定了预处理工艺的一般规定

原料的预处理包括粉碎、除杂、调浆、加热等，应根据原料特性设置相应的预处理内容。

7.2秸秆类原料预处理

秸秆中紧密的木质纤维素结构严重阻碍了底物的水解速度和发酵效率，降低秸秆中木质纤维素之间的聚合度对提高秸秆厌氧发酵性能至关重要（柳丽等，2022）。

7.2.1 本条列举了秸秆类原料预处理的基本方法。

秸秆预处理包括物理法、化学法和生物法。物理法主要通过研磨、蒸汽爆破、挤压和辐射等增加可接触表面积并降低纤维素的聚合度。化学法是使用氨水、草木灰等进行木质素脱除或破坏木质纤维基质的键合。生物法是通过酶促反应和微生物降解木质纤维素（康雅茹等，2022），以达到破坏其纤维结构及蜡质层的效果。

7.2.2本条规定了秸秆粉碎预处理的要求。

秸秆经切碎后，有利于茎秆的破裂，使其更易充分吸水和发酵，秸秆粉碎粒径参照GB/T 51063《大中型沼气工程技术规范》执行。干秸秆粉碎粒径宜小于10 mm ，鲜秸秆粉碎粒径可在20～30 mm之间。

7.2.3本条规定了秸秆化学预处理的要求。

秸秆采用化学预处理时应选用无毒无害的试剂以避免对农业生产与生态环境的损害，宜选用氨水、尿素、草木灰等。在进行化学预处理时应做好安全防护措施。

7.2.4本条规定了生物预处理的要求。

秸秆生物预处理通常是采用菌剂处理，菌剂的使用参照GB/T 30393《制取沼气秸秆预处理复合菌剂》执行。

7.3畜禽粪便类原料预处理

应根据畜禽粪便种类和所含杂质类型进行预处理，便于原料发酵阶段过程的高效发酵，避免杂质在发酵罐中堆积。

7.3.1 本条规定了含漂浮杂物及粗纤维较多的粪便预处理要求。

含漂浮杂物及粗纤维较多的粪便预处理应设置格栅，格栅的设计参照NY/T 1222《规模化畜禽养殖场沼气工程设计规范》执行。

7.3.2 本条规定了含砂较多的粪便预处理要求。

含砂较多的粪便，应设置沉砂池，沉砂池和砂斗的设计参照CJJ /T 64《粪便处理厂设计规范》执行。

7.4尾菜预处理

尾菜形状多样、含水率高，且通常含有塑料、金属等杂物，因而在厌氧处理前需要对其进行一定的预处理(李晨彬等, 2021)。

7.4.1本条规定了尾菜金属去除预处理的要求。

尾菜中的金属应先予以清除，以避免后续对粉碎设备的损害，磁选机是常用的金属去除设备(李晨彬等, 2021)。

7.4.2本条规定了尾菜破碎的要求。

尾菜破碎参照NY/T 3441《蔬菜废弃物高温堆肥无害化处理技术规程》执行。叶菜果菜等含水率高的尾菜可直接打浆处理，藤蔓类茎秆类等含水率较低的尾菜破碎后颗粒尺寸宜在50 mm以内。

7.4.3本条规定了尾菜中其他杂物的去除要求。

尾菜破碎或打浆后还可能存在绳线、塑料薄膜等杂物，在进发酵罐前还需要将其予以清除。

### 8 物料调配与进料

8.1.1本条列出了常见农业废弃物基本特性的参考值。

常见作物秸秆与畜禽粪便的基本特性参照NY/T 1220.1《沼气工程技术规范 第1部分：工程设计》而给出，常见尾菜的基本特性参数参照相关文献列出(靳红燕等, 2021; 孙华等, 2022; 葛米红等, 2021)。

8.1.2本条规定了联合发酵原料干湿搭配的原则。

联合发酵不同原料的含水率差异显著，而底物的厌氧发酵正需要调配适当的含水率，因而需要考虑原料的干湿搭配。同时还可以进行沼液回流，一方面减少淡水的消耗，另一方面降低沼液的产出，沼液回流量应不影响沼气正常发酵为宜(董丽丽等, 2020; 李金平等, 2021; 冉文娟等, 2022)。

8.1.3本条规定了联合发酵原料混合调配的碳氮比区间。

碳氮比是影响厌氧发酵过程与效果的重要因素之一，制约着厌氧微生物的生长繁殖。通过总结归纳文献数据，联合发酵公认的适宜碳氮比区间为20～30 (Abdoli et al., 2014; Ning et al., 2019; Zhou et al., 2021)。

8.1.4本条规定了联合发酵原料反应罐进料前的混匀要求。

多元物料联合厌氧发酵处理的协同效应需要各底物之间能充分混匀接触，因而需要在反应罐进料前进行搅拌混匀处理。

8.1.5本条规定了联合发酵原料进料系统及精准计量的要求。

进料系统宜包括除杂设施、切割设施等。此外，多元物料联合发酵协同效果的获得需要精准的物料配比，因而底物进料需配备计量设施进行准确计量。

### 9 联合发酵过程调控

9.1 过程参数监测及方法

9.1.1本条规定了厌氧发酵在线监测系统的要求。

厌氧发酵过程复杂，运行参数浮动较大，需建立运行状态在线监测系统以实时把控运行状况。沼气生产过程宜建立运行状态信息在线监测、传输和存储系统，其建设规范应符合NY/T 3239《沼气工程远程监测技术规范》的要求。

9.2 浮渣结壳控制

9.2.1本条规定了发酵罐浮渣高度传感器的设置要求。

秸秆类原料厌氧发酵容易引发发酵罐表层浮渣甚至是结壳的问题(Jiao et al., 2022; 刘德源, 2010; 苏宜虎等, 2007)，因而需要在发酵罐运行液位位置设置浮渣高度传感器，以及时掌握浮渣形成情况。

9.2.2本条规定了机械搅拌反应器进行浮渣控制的要求。

机械搅拌能有效解除浮渣及结壳故障进而促进厌氧发酵的顺利进行(吕建强等, 2014; 孙勇等, 2022; 余亚琴和吴义锋, 2014)。机械搅拌发酵罐的搅拌装置应经过CFD模拟后配置，以保障物料的全混状态。机械搅拌应定期开启运行，且当发现明显的浮渣时应调节搅拌器的高度、角度、转速等以强化搅拌效果(孙勇等, 2022)。

9.2.3 本条规定了非机械搅拌反应器进行浮渣控制的要求。

除了机械搅拌之外，水力与气力（沼气）搅拌也是厌氧发酵罐常用的搅拌方式。当水力/沼气搅拌发酵罐发现明显的浮渣时应提高冲击强度，以通过液面波动来破除浮渣(宋波和王奕阳, 2009; 孙勇等, 2022; 李幸芳, 2013)。

9.3 酸抑制调节

9.3.1本条规定了厌氧发酵酸抑制的识别及主要的调控方法。

当发酵罐出现酸抑制（挥发性脂肪酸积累）时，沼气产量会明显下降，随之pH也会显著降低。通常而言，厌氧微生物适宜的pH范围为6.5~8.0(Nguyen et al., 2019; Wu et al., 2019)，而发生明显酸抑制时其pH值通常低于6.0(Li et al., 2022; 陈琳等, 2017; 于佳动, 2017; 邹永杰等, 2017)。因而，当沼气产量明显下降且pH低于6.0时可判定发酵罐出现明显的酸抑制，此时需要进行酸抑制调控。根据文献及工程实践，目前常用的酸抑制调节方法有工艺水稀释、沼液回流及添加碱性缓冲剂等(黄召亮等, 2022; 孟晓山等, 2023; 杨思, 2022)。

9.3.2本条规定了厌氧发酵酸抑制碱性缓冲剂的选用及调节方法。

碱性缓冲剂应选用无毒无害的试剂，以避免对后续农业生产及生态环境的毒害，并考虑其经济成本，因而宜选用石灰、草木灰等(刘娟娟, 2012; 李金平等, 2022; 罗娟等, 2013; 张博等, 2021)。在进行碱性缓冲剂调控酸抑制时应打开搅拌装置并缓慢加入，以便让缓冲剂跟发酵罐浆液充分混匀接触而观察pH的变化。当pH稳步回升且稳定在7.0~8.0时便停止加入。

9.3.3本条规定了发酵罐出现酸抑制后原料比例的调整措施。

厌氧发酵发生酸抑制现象说明底物中碱度不足，而不同的原料所含的碱度也具有显著差异(廖杰等, 2023; 赵明明等, 2019)。依据三大有机组分（碳水化合物、蛋白质、脂质）在厌氧体系的降解特性及相互作用关系可知，高比例的碳水化合物容易引发酸抑制，而蛋白质组分则可以提供碱度以抵抗酸化，脂质对酸化也具有一定的缓解作用(Zhou et al., 2024)。但考虑到脂质组分的增加容易引起长链脂肪酸抑制及发酵浆液起泡现象(Elsamadony et al., 2021; 何琴, 2017; 周滢月等, 2023)，因而针对酸抑制现象的原料比例调整策略为降低碳水化合物组分的比例而提高蛋白质组分的比例，即降低混合物料的碳氮比。

9.4 氨抑制调节

9.4.1本条规定了发酵罐出现氨抑制的识别标准。

发生氨抑制时，沼气产量会明显下降，且出现高浓度的氨氮积累(宋柳莹, 2020; Rajagopal et al., 2013)。综合文献数据，一般当氨氮浓度超过1.5～7.0 g/L的范围时会发生氨抑制(Rajagopal et al., 2013)。因而，当沼气产量明显下降且氨氮浓度超过1.5～7 g/L时，可判断发酵罐此时出现氨抑制，应进行氨抑制调控。

9.4.2本条规定了发酵罐氨抑制调控的一般方法。

在实验室研究中，氨抑制的调控方法有吸附剂吸附、微量元素添加、汽提吹脱及淡水稀释等(程寒等, 2020; 戴晓虎等, 2017)。但考虑到实际应用的经济性与便捷性，工艺水稀释是较为合适的方法(王珅等, 2015; Nielsen and Angelidaki, 2008)。

9.4.3本条规定了发酵罐出现氨抑制后原料比例的调整措施。

发酵罐出现氨抑制的根本原因在于底物中氮含量过高，因而针对氨抑制现象的原料比例调整策略为通过改变原料比例进而提高混合物料的碳氮比。

### 10 产物分析利用与效果评价

10.1 产物分析利用

10.1.1本条规定了沼渣沼液的处理要求。

沼渣沼液的处理参照NY/T 3896执行。

10.1.2本条规定了沼气存储与利用的要求。

沼气的存储与利用参照GB/T 51063执行。

10.2评价内容

评价内容包括厌氧发酵过程稳定性及甲烷产量协同指数。

10.3评价指标及计算公式

10.3.1本条规定了厌氧发酵系统稳定性指标及范围。

综合文献分析与生产实践，厌氧发酵系统的稳定性指标主要为沼气产量与pH。沼气产量的稳定性通常以一个滞留期内日产量浮动范围在10%以内为准(Tian et al., 2018)，而pH的范围则如9.3.1所述。

10.3.2本条规定了联合厌氧发酵处理的协同效应指标。

在多原料处理系统中通常用协同指数来量化表征协同效应(Lu et al., 2018)，而多元物料联合厌氧处理可以用联合处理的甲烷产量与各物料单发酵的累加甲烷产量之比来表征其协同效应(Zhou et al., 2021)。当此比值大于1时即表示为具有协同效应，其值越大表明其协同效应越大。

# 三、主要试验或验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

## （一）主要试验或验证的分析、综述报告

编制组在河北省定州市（37,000 Nm3/d）、河南省兰考县（50,000 Nm3/d）和江苏省新沂市（24,000 Nm3/d）3处基地组织开展了以畜禽粪便和农作物秸秆为主要原料进行联合厌氧发酵产沼气的试验示范，本报告以江苏省新沂市示范点为例进行分析。

江苏省新沂市示范点位于江苏省新沂市新店镇，处于新沂市农业循环产业园内。新沂市以争创全国乡村振兴示范县为引领，坚持“三农”优先发展，推动农业全面升级、农村全面进步、农民全面发展。2022年，全市实现农林牧渔业（含农林牧渔服务业）总产值182.83亿元，比上年增长4.2%。全年粮食播种面积159.52万亩，粮食产量72.13万吨。其中夏粮播种面积80.10万亩，夏粮产量31.69万吨；秋粮播种面积79.42万亩，秋粮产量40.44万吨。年产各种蔬菜212.67万吨，比上年增长4.3%。全年完成生猪养殖量102.53万头，比上年下降3.4%，其中出栏量64.90万头；家禽饲养量3025.34万羽，与去年基本持平，其中出栏量2294.03万羽。可见，新沂市的农作物秸秆和粪污资源非常丰富。

项目所在园区内有华英养鸭场，设计年存栏肉鸭200万羽；园区内有牧原养猪场，设计年出栏15万头生猪，这些畜禽舍的鸭粪和猪粪可直接通过管道输送至项目地。距离项目30 km范围内还有大型养殖集团正大、益客等养殖基地，可提供稳定的鸡粪等粪污资源。

该示范点占地约90亩，主要建设内容包括：4座单体容积为5000 m3的CSTR厌氧发酵罐及配套设施、2座单体容积为1500 m3的落地式双膜储气柜、二级脱硫系统（生物粗脱硫+化学精脱硫）及配套净化设施、处理能力为900 Nm3/h的二级膜提纯系统及配套的调压计量和并网设施、1.4 MW沼气锅炉及其供热系统、应急火炬系统、年产24000吨固体有机肥的好氧堆肥系统及配套的有机肥生产线、生物除臭系统、容积为140000 m3沼液储存设施（盖泄湖土工膜结构）等。项目主工艺采用中温厌氧CSTR发酵工艺，日处理粪污约330吨和秸秆10吨，日产沼气达到24000 Nm3，沼气除一部分用于烧锅炉给系统加热保温外，剩余的沼气全部经过提纯后并入当地的天然气管网，日均并入管网约11000 Nm3。项目通过原料端控制成本，主要是通过固体原料免费到场，液体原料收取处置费的方式，采用的多种原料协同厌氧发酵，可提高原料的产气效率，实现产品收益的提高，从而实现项目可持续经营的目的。

本项目作为农业废弃物区域化处置中心，协同处置县域范围内产生的农作物秸秆和畜禽粪污，助力实现种养结合和种养循环的农业发展目标。新沂项目入选江苏省2020年粪污资源化利用整县推进项目，项目公司入选江苏省2021年至2023年绿色种养循环农业试点项目社会服务主体。

由该试点项目的运行效果可见，多元物料联合厌氧发酵处理技术可同时实现周边多元农业废弃物的综合管控以及沼气工程高效沼气生产，进而提高沼气项目的运行可靠性及经济效益。本标准的编制可为多元物料联合厌氧发酵处理的技术推广和生产应用提供指导，使其有源可寻，有据可依。

## （二）技术经济论证、预期的经济效益和社会效益及生态效益

经济效益：通过农业废弃物联合厌氧处理技术的推广，不仅提高了厌氧发酵过程的运行稳定性，还提高了甲烷产量，进而提高了沼气工程的经济效益，实现了农业废弃物的增值化利用。

生态效益：本技术标准的实施和推广可促进不同种类农业废弃物的多元管控与协同处理，提高农作物秸秆、畜禽粪便和尾菜等的利用率，降低了农业废弃物随意堆置产生的面源污染风险，对周围水质、大气等自然环境起到了积极的保护作用。同时，为种养循环提供了一个切实有效的桥梁和纽带，有效的推动种养循环的应用和示范，为削减农业面源污染负荷提供技术支撑。

# 四、与国际同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

国际上尚无同类标准。

**五、**以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

国际上尚无同类标准。

# 六、与现行的有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准与我国现行的法律、法规、行政规章等约束性文件保持一致。借鉴引用了农业废弃物存储及沼气发酵过程关于场地环境、技术要求、设施设备等方面的相关标准，采纳了相关文献和国家标准的一些技术参数，与现行的法律、法规无冲突。

# 七、重大分歧意见的处理经过和依据

XX。（说明各方面专家对标准主要内容（如参数、指标、试验方法）有哪些重大分歧，以及标准起草单位在修改完善标准过程中，对专家分歧意见的处理情况和处理的主要依据。）

# 八、涉及专利的有关说明

无。

# 九、实施标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

XX。（主要说明贯彻实施标准所需条件，包括应采取的组织措施、技术措施、过渡办法和实施日期的建议等措施建议。）

# 十、其他应予说明的事项

无。

《农业废弃物联合厌氧处理技术规范》编制小组

2025年2月19日

参考文献

1 Abdoli M A, Amiri L, Baghvand A, et al. 2014. Methane Production From Anaerobic Co-Digestion of Maize and Cow Dung. Environmental Progress & Sustainable Energy, 33(2): 597-601.

2 Elsamadony M, Mostafa A, Fujii M, et al. 2021. Advances Towards Understanding Long Chain Fatty Acids-Induced Inhibition and Overcoming Strategies for Efficient Anaerobic Digestion Process. Water research (Oxford), 190: 116732.

3 Jiao H, Li W, Jing H, et al. 2022. Investigating the Effects of Aerobic Hydrolysis On Scum Layer Formation During the Anaerobic Digestion of Corn Stalk Particles. Sustainability, 14(11).

4 Li W, Liu Y, Wu B, et al. 2022. Upgrade the High-Load Anaerobic Digestion and Relieve Acid Stress through the Strategy of Side-Stream Micro-Aeration: Biochemical Performances, Microbial Response and Intrinsic Mechanisms. Water Research, 221.

5 Lu J, Liu Z, Zhang Y, et al. 2018. Synergistic and Antagonistic Interactions During Hydrothermal Liquefaction of Soybean Oil, Soy Protein, Cellulose, Xylose, and Lignin. ACS sustainable chemistry & engineering, 6(11): 14501-14509.

6 Nguyen D, Wu Z, Shrestha S, et al. 2019. Intermittent Micro-Aeration: New Strategy to Control Volatile Fatty Acid Accumulation in High Organic Loading Anaerobic Digestion. Water Research, 166: 115080.

7 Ning J, Zhou M, Pan X, et al. 2019. Simultaneous Biogas and Biogas Slurry Production From Co-Digestion of Pig Manure and Corn Straw: Performance Optimization and Microbial Community Shift. Bioresource Technology, 282: 37-47.

8 Zhou J, Ming S, Liu Q, et al. 2024. Revealing the Synergy Mechanisms of Organic Components Anaerobic Co-Digestion From the Prevailing Tendency of Endogenous Inhibitors. Chemical Engineering Journal, 479: 147707.

9 陈琳, 李东, 文昊深, 等. 2017. 蔬菜废弃物中温厌氧发酵酸化失稳预警指标筛选. 农业工程学报, 33(01): 225-230.

10 程寒, 荆肇乾, 张锺一, 等. 2020. 厌氧消化过程中氨抑制及其调控策略. 应用化工, 49(05): 1308-1312.

11 戴晓虎, 何进, 严寒, 等. 2017. 游离氨调控对污泥高含固厌氧消化反应器性能的影响. 环境科学, 38(02): 679-687.

12 靳红燕, 卢艳娟, 丁江涛, 等. 2021. 尾菜厌氧特性研究及工艺设计分析. 中国资源综合利用, 39(03): 22-28.

13 刘德源. 2010. 农村户用自动破壳沼气池的初步研究. 湖北农业科学, 49(08): 1977-1979.

14 刘娟娟. 2012. 添加酒糟、草木灰对猪粪、牛粪厌氧发酵的影响: 西北农林科技大学.

15 吕建强, 吕宸, 王连. 2014. 沼气池的结壳及破壳器设计. 农机化研究, 36(10): 228-231.

16 任海伟, 姚兴泉, 李金平, 等. 2014. 玉米秸秆储存方式对其与牛粪混合厌氧消化特性的影响. 农业工程学报, 30(18): 213-222.

17 宋波, 王奕阳. 2009. 解决牛粪厌氧发酵中浮渣结壳的几种方法. 可再生能源, 27(03): 110-112.

18 苏宜虎, 陈晓东, 马洪儒. 2007. 搅拌对沼气发酵的影响. 安徽农业科学(28): 8961-8962.

19 孙华, 侯福银, 丁海荣, 等. 2022. 尾菜的营养价值及其在动物生产中的应用. 饲料研究, 45(08): 150-153.

20 孙勇, 王连瑞, 张兆国, 等. 2022. 抗结壳厌氧发酵反应器的研制与试验. 农业工程学报, 38(03): 30-37.

21 于佳动. 2017. 纤维质农业废弃物微好氧酸化机理及高含固率两相厌氧发酵工艺研究: 中国农业大学.

22 余亚琴, 吴义锋. 2014. 蓝藻厌氧发酵产沼气机械搅拌工艺优化及中试验证. 农业工程学报, 30(22): 253-259.

23 邹永杰, 陈羚, 蒋伟忠, 等. 2017. 固体稀释倍数和超声波对豆渣厌氧发酵酸化过程的影响. 农业工程学报, 33(06): 207-213.

24 Ebrahim. 2017. 稻秸预处理厌氧消化及联合消化提高甲烷产量的研究: 浙江大学.

25 董丽丽, 曹广丽, 武继文, 等. 2020. 沼液回流提升推流式厌氧反应器运行效果研究. 中国沼气, 38(3): 18-27.

26 葛米红, 施先锋, 王德欢, 等. 2021. 武汉设施蔬菜尾菜资源化利用现状及对策. 长江蔬菜(20): 72-76.

27 何琴. 2017. 餐厨垃圾厌氧消化起泡及其机理的多尺度研究: 重庆大学.

28 黄召亮, 乔杰, 庞晓怡, 等. 2022. 餐厨垃圾厌氧消化系统酸化调控研究进展. 四川环境, 41(2): 262-266.

29 李晨彬, 陈慧慧, 刘玉坤. 2021. 蔬菜废弃物湿式厌氧发酵机械预处理系统对比. 生物化工, 7(6): 158-160.

30 李金平, 曹鹏, 郭精韬, 等. 2021. 沼液回流对牛粪厌氧发酵工程影响. 太阳能学报, 42(6): 469-475.

31 李金平, 程达, 万丹丹, 等. 2022. 尿素和草木灰对生物质恒温厌氧发酵兼好氧处理过程的影响. 农业工程学报, 38(15): 259-268.

32 李幸芳. 2013. 秸秆厌氧发酵产沼气及其结壳特性研究: 河南农业大学.

33 廖杰, 谢威, 刘超翔, 等. 2023. 初始碱度和温度对养猪废水厌氧发酵过程的影响特征. 环境工程, 41(2): 53-59, 65.

34 凌世东. 2023. 猪粪便储存区恶臭气体排放特征研究与臭气净化工艺测试系统开发: 华中农业大学.

35 罗娟, 张玉华, 陈羚, 等. 2013. Cao预处理提高玉米秸秆厌氧消化产沼气性能. 农业工程学报, 29(15): 192-199.

36 孟晓山, 汤子健, 陈琳, 等. 2023. 厌氧消化系统酸化预警及调控技术研究进展. 化工进展, 42(3): 1595-1605.

37 冉文娟, 袁海荣, 张良, 等. 2022. 沼液回流对牛粪和玉米秸秆高温联合厌氧消化性能影响研究. 可再生能源, 40(6): 737-742.

38 宋柳莹. 2020. 鸡粪厌氧发酵过程中的氨抑制机理及抑制恢复策略研究: 山东大学.

39 王珅, 田颖, 刘阳生, 等. 2015. 厌氧消化过程氨抑制解除技术研究进展. 工业水处理, 35(5): 10-14, 15.

40 杨思. 2022. 厨余垃圾厌氧消化的典型组分转化特征及酸化缓解机制研究: 华中科技大学.

41 张博, 赵益华, 陶君, 等. 2021. Cao对高浓度污泥厌氧消化性能的影响机理及动力学分析. 环境工程, 39(4): 140-146.

42 赵明明, 李夕耀, 李璐凯, 等. 2019. 碱度类型及浓度对剩余污泥中温厌氧消化的影响. 中国环境科学, 39(5): 1954-1960.

43 周滢月, 张智, 李蕾, 等. 2023. 底物对厌氧消化系统Eps产生及起泡的影响. 中国环境科学, 43(8): 4046-4056.

44 Nielsen H B, Angelidaki I. 2008. Strategies for Optimizing Recovery of the Biogas Process Following Ammonia Inhibition. Bioresour Technol, 99(17): 7995-8001.

45 Tian H, Fotidis I A, Mancini E, et al. 2018. Acclimation to Extremely High Ammonia Levels in Continuous Biomethanation Process and the Associated Microbial Community Dynamics. Bioresour Technol, 247: 616-623.

46 Wu Y, Kovalovszki A, Pan J, et al. 2019. Early Warning Indicators for Mesophilic Anaerobic Digestion of Corn Stalk: A Combined Experimental and Simulation Approach. Biotechnol Biofuels, 12(1): 106.

47 Rajagopal R, Massé D I, Singh G. 2013. A Critical Review On Inhibition of Anaerobic Digestion Process by Excess Ammonia. Bioresource Technology, 143: 632-641.

48 Yu Q, Liu R, Li K, et al. 2019. A Review of Crop Straw Pretreatment Methods for Biogas Production by Anaerobic Digestion in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 107: 51-58.

49 Zhou J, Zhang Y, Khoshnevisan B, et al. 2021. Meta-Analysis of Anaerobic Co-Digestion of Livestock Manure in Last Decade: Identification of Synergistic Effect and Optimization Synergy Range. Applied Energy, 282(116128A): 116128.