

# 团体标准《规模化奶牛场甲烷减排技术指南》编制说明

## 一、工作简况

### （一）任务来源

本标准任务来源于北京低碳农业协会印发的《关于《饲料产品碳足迹评价技术规范》等四项团体标准的立项公告》（低碳农协【2024】5号），由中国农业科学院饲料研究所牵头承担，计划编号为 LCAA2024001。

### （二）制定背景

2020年9月22日，习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话，提出中国力争于2030年前二氧化碳排放达到峰值、2060年前实现碳中和。我国牛羊存栏4亿头只，居世界首位，如此庞大的养殖体量为我国提供了优质丰富的畜产品资源，但其产生的肠道甲烷成为农业活动重要的温室气体排放源。根据根据《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》数据显示，2014年中国农业活动产生甲烷2224.5万吨，其中动物肠道甲烷排放就占据985万吨。反刍动物瘤胃甲烷排放对全球气候变化造成影响，排出的甲烷能也会造成饲料资源浪费。为实现我国双碳战略目标，生态环境部等多部门联合发布《甲烷排放控制行动方案》，方案指出科学控制肠道发酵甲烷排放。以畜禽规模养殖场为重点，选育推广高产低排放畜禽品种，推广低蛋白日粮、全株青贮等技术，合理使用基于植物提取物、益生菌等饲料添加剂和多功能营养舔砖，改进畜禽饲养管理，实施精准饲喂，探索高产低排放技术模式，引导降低单位畜产品的肠道甲烷排放。

目前控制反刍动物肠道甲烷排放的技术方案涵盖多个方面，主要涉及奶牛养殖环节中的饲养管理、牛群管理、粪污管理和能源管理环节。针对这些环节，已经有多种甲烷减排策略，比如饲养管理中的精准饲喂、日粮配比及成分调整、添加饲料添加剂等；牛群管理中的牛群结构调整；粪污管理中的堆肥、酸化等处理；以及充分利用可再生能源生产的能源管理。中国规模化奶牛场已成为奶牛养殖业的主流模式，在生产环节中面临着巨大的环境压力，除了粪污所带来的环境问题外，当前规模化奶牛养殖场肠道甲烷排放量所带来的温室气体问题同样不容忽视，针对这些问题，提出系统且全面的减排技术指南标准，旨在降低规模化奶牛养殖

场肠道甲烷排放、提高动物能量利用效率，带来经济效益和环境效益的双赢，为助力我国双碳目标的实现及畜牧养殖业可持续发展做出贡献。

### **（三）起草单位及协作单位**

为顺利完成标准的制定工作，结合标准制定的内容和要求，中国农业科学院饲料研究所牵头，联合中国农业科学院饲料研究所、北京英惠尔生物技术有限公司、山西农业大学、光明牧业有限公司、常州辉途智能科技有限公司、河南农业大学、天津市畜牧兽医研究所、世界资源研究所等单位的专家组成标准编制小组，为标准制定提供技术支撑。制定了详细的起草方案，并根据标本起草小组的统一安排和部署，明确了各起草人的任务和分工，做到了统筹兼顾、齐头并进。

### **（四）起草过程**

#### **1. 起草阶段**

项目组在承担编制任务后，开展了深入的资料调研和专家咨询，跟踪了国内外奶牛养殖过程中甲烷减排技术措施和研究进展，并充分分析总结了国内外相关标准规范的资料，包括研究论文、研究报告、技术导则和标准规范等。通过与国内规模化牧场合作，开展一线生产中的实地调研，与牧场技术人员深入交流探究减排技术的可实施性。

#### **2. 征求意见阶段**

#### **3. 审查阶段**

## **二、标准编制原则和确定标准主要内容的依据**

### **（一）编制原则**

本着科学性、实用性等原则，聚焦规模化奶牛场甲烷减排方面存在的技术问题，就产业中存在的共性问题提出方向性、指导性建议，以期为规模化奶牛场实现甲烷减排提供技术指导。

### **（二）主要内容的依据**

本文件共包括八部分内容：

第一部分为文件的适用范围：本文件提供了规模化奶牛养殖场甲烷减排中涉

及的总体要求、饲养管理、牛群管理、环境管理、粪污管理和能源管理等方面的指导。本文件适用于规模化奶牛养殖场，其他养殖场可参考使用。

第二部分为规范性引用文件：列出了本文件引用、依据的主要标准，包括：

GB/T 25171-2023 《畜禽养殖环境与废弃物管理术语》

GB/T 32150-2015 《工业企业温室气体排放核算和报告通则》

GB/T 36195 畜禽粪便无害化处理技术规范

GB/T 37116-2018 后备奶牛饲养技术规范

NY/T 34 奶牛饲养标准

NY/T 1168 畜禽粪便无害化处理技术规范

NY/T 1245 奶牛用精饲料

NY/T 3049 奶牛全混合日粮生产技术规程

NY/T 3442 畜禽粪便堆肥技术规范

NY/T 4243 畜禽养殖场温室气体排放核算方法

NY/T 5032 无公害食品 畜禽饲料和饲料添加剂使用准则

NY/T 5049 无公害食品 奶牛饲养管理准则

DB 13/T 5827 集约化奶牛养殖粪污保氮固磷技术规程

DB 31/T 356 规模化奶牛场生产技术规范

DB 34/T 3486 畜禽粪污覆膜氧化塘处理技术规程

DB 37/T 3591 畜禽粪便堆肥技术规范

DB 53/T 982 畜禽粪便好氧堆肥化操作规程

T/ACEF 018 规模化畜禽养殖场氨减排技术指南

中华人民共和国农业农村部公告第 2625 号 饲料添加剂安全使用规范

中华人民共和国国务院令 第 645 号 饲料和饲料添加剂管理条例

第三部分为术语和定义：本部分给出了涉及规模化奶牛场甲烷减排技术相关的术语和定义。

第四部分为总体要求：本部分对规模化奶牛场实施甲烷减排技术的原则性要求进行了阐述。

第五部分为饲养管理：本部分对精准饲喂、育种选择、饲料原料选择、优化

日粮配制、添加饲料添加剂方面进行了分别阐述。

第六部分为牛群管理：本部分对保障牛群健康、优化牛群结构和优化后备牛管理的要点进行了分别阐述。

第七部分为粪污管理：本部分对粪便清除、覆盖氧化塘、粪便酸化、厌氧消化、堆肥的技术要点进行了分别阐述。

第八部分为能源管理：本部分对可再生能源生产和节省化石能源使用的技术要点进行了分别阐述。

## 1 范围

本文件提供了规模化奶牛养殖场甲烷减排中涉及的总体要求、饲养管理、牛群管理、环境管理、粪污管理和能源管理等方面的指导。

本文件适用于规模化奶牛养殖场，其他养殖场可参考使用。

## 2. 规范性引用文件

列出了本标准引用的主要标准。

## 3 术语和定义

在制定本文件时，在 GB/T 37116-2018《后备奶牛饲养技术规范》、DB31/T 356-2019《规模化奶牛场生产技术规范》、NY/T 3049-2016《奶牛全混合日粮生产技术规程》、GB/T 25171-2023《畜禽养殖环境与废弃物管理术语》、NY/T 3442-2019《畜禽粪便堆肥技术规范》、GB/T 32150-2015《工业企业温室气体排放核算和报告通则》、NY/T 4051-2021《奶业通用术语》中，以及所引用文件中已经界定的术语和定义，本文件不再赘述，仅对脂肪和蛋白质校正乳和甲烷排放强度进行了定义。具体定义如下：

### 3.1 脂肪和蛋白质校正乳 fat and protein correcting milk, FPCM

将乳脂率、乳蛋白率矫正到标准值后的生鲜乳，脂肪和蛋白质校正乳 $[\text{kg}/(\text{头}\cdot\text{年})]=\text{生鲜乳产量}(\text{kg})\times[0.1226\times\text{乳脂率}\%+0.0776\times\text{乳蛋白率}\%+0.2534]$ 。

制定理由：

联合国粮食及农业组织（FAO）发布的《以畜牧养殖应对气候变化-全球温室气体排放评估与减排》中提到：脂肪和蛋白质校正乳是用于比较脂肪和蛋白质含

量不同的奶制品标准。它是评估不同产奶动物和不同品种间奶类生产的一种方法。牛奶的脂肪和蛋白质的标准含量分别被定义为 4%和 3.3%。在国际乳品联合会（IDF）发布的乳制品行业通用碳足迹方法《A COMMON CARBON FOOTPRINT APPROACH FOR THE DAIRY SECTOR》中明确了脂肪和蛋白质校正乳（FPCM）的计算方法，为： $FPCM (kg/yr)=production (kg/yr)\times[0.1226\times fat\%+0.0776\times true\ protein\%+0.2534]$ 。本标准对此定义进行了修改，简化其定义并明确了计算公式。

### 3.2 甲烷排放强度 methane emission intensity

生产每单位动物产品（肉、奶、毛等）的甲烷气体排放量，如生产每千克脂肪和蛋白质校正乳的甲烷排放量。

制定理由：

联合国粮食及农业组织（FAO）发布的《以畜牧养殖应对气候变化-全球温室气体排放评估与减排》中对排放强度术语进行了定义。排放强度为每单位产出的排放量，代表每单位产出产生的二氧化碳当量（如生产每千克鸡蛋产生的二氧化碳当量）。本标准在此定义基础上进行了修改，使其更符合本文件描述情景。

## 4 总体要求

4.1 规模化奶牛养殖场的甲烷减排技术工艺包括饲养管理、牛群管理、粪污管理、能源管理等方面。具体参见附录 A。

4.2 养殖场（企业）应保留上述管理过程的记录、数据、证据等材料。

理由：养殖场过程管理的的数据对于核算养殖场碳排放都具有非常重要的作用，应保存完整的原始记录备查。

## 5 饲养管理

### 5.1 育种

宜选育具有高饲料转化率、高泌乳性能和低肠道甲烷排放的奶牛个体，提升奶牛的生产效率，降低甲烷排放强度。

制定理由：

选择育种是降低瘤胃甲烷排放的方法之一，因为瘤胃甲烷的产生在奶牛育种

中表现出显著的遗传力和重复力。可以通过直接和间接方式选择低甲烷排放的奶牛。直接选择是基于甲烷排放特征进行选择，比如通过呼吸测热室、SF<sub>6</sub> 示踪技术、GreenFeed 测定设备等直接测定奶牛甲烷排放量，然后选择低甲烷排放的奶牛用于育种。间接选择则是通过基于与甲烷排放相关的特征，比如剩余采食量，选择低剩余采食量、高饲料转化率的奶牛能够在 10 年内实现甲烷降低 11%-26%。选育低甲烷排放的奶牛具有成本效益、持久性和累加性。选育饲料转化效率和泌乳性能高的奶牛，能够显著提高动物生产性能，降低单位畜产品的甲烷排放强度 (de Haas et al., 2021)。利用现代遗传评估技术（如基因组选择）来识别具有优良遗传特性的奶牛，这些特性包括高饲料转化率、高泌乳能力以及低甲烷排放，并实施家系和基因标记研究，精确追踪和促进这些性状的遗传。

## 5.2 选择饲料原料

5.2.1 所用饲料种类应来源于《饲料原料目录》及其增补修订版本。

5.2.2 宜通过物理、化学和生物发酵处理等方法提高饲料原料品质，并提升优质饲料原料在日粮中的配比，选择优质玉米青贮替代牧草青贮。

制定理由：

对于纤维含量高、蛋白含量低的饲料原料，比如秸秆类（玉米秸秆、小麦秸秆、稻草等），可通过物理处理技术（如揉丝切碎、蒸汽爆破、超声波等方式）、化学处理技术（如氨化、碱化）、生物发酵技术（如添加益生菌和酶制剂等）来破坏秸秆木质纤维素结构，提高秸秆的适口性、采食量和消化率。

提高饲料质量能够增加有机物消化率和降低 NDF 含量。高消化率饲料含有较高的可发酵碳水化合物，促进丙酸的生成，从而降低瘤胃甲烷产生。低 NDF 含量的饲料，能够降低乙酸的生成，降低甲烷的产生 (Eugène et al., 2021)。由于玉米青贮中含有较高的淀粉和较低的纤维含量，选择玉米青贮替代牧草青贮能够降低甲烷产生 (van Gastelen et al., 2019)。

5.2.3 降低收获时饲草成熟度。

制定理由：

饲草的成熟度对瘤胃甲烷的产生有显著影响，这是由于饲草的营养密度和可

消化性在成熟过程中会发生变化，从而降低了其质量。随着饲草的成熟，纤维含量增加，尤其是木质素在细胞壁的沉积增多，因为植物从初级细胞壁生长过渡到次级细胞壁加厚，这导致消化率和采食量的下降。降低饲草成熟度，能够在不影响采食量的情况下，增加 9% 左右（1%~18%）的产奶量，降低 13%（7%~18%）瘤胃甲烷排放强度（每公斤奶甲烷排放量）。通过提高饲草中可消化利用的能量和蛋白质含量，并提高纤维消化率，从而提高奶产量和降低甲烷产生(Warner et al., 2016; Arndt et al., 2022)。

### 5.3 优化日粮配制

5.3.1 应依据 NY/T 34 等精准预测奶牛不同生理阶段（犊牛、育成牛、青年牛、干奶牛、围产牛和泌乳牛等）的营养需要量，取得饲料原料营养成分的准确数据，合理配制符合奶牛营养需求的日粮，最大限度地减少饲料浪费、提高饲料转化率和动物生产性能，降低营养过剩带来的碳氮排放。

制定理由：

现有研究表明，奶牛饲粮供应对粪便中的氨排放有深远影响。过量饲喂瘤胃可降解蛋白或可代谢蛋白将导致尿液中氮的过度排泄。不平衡的氨基酸供应也会导致饲料氮利用效率低下。日粮的分解程度可以限制瘤胃中微生物蛋白的合成，能量供应不足可以限制蛋白质合成速率，这都会导致饲料氮利用效率低下、尿液氮排放过多，增加粪便中的氨排放(Morey et al., 2023)。实现精准饲养，能够避免营养物质的过度供应，造成饲料效率低下，饲料过度浪费。尤其是对饲料效率低下的奶牛进行精准饲喂限制能够提高饲料转化效率，最大限度减少单位畜产品的温室气体排放强度(Fischer et al., 2020)。

5.3.2 在保证瘤胃健康的前提下适当提高日粮中精料的比例，但应限制以谷物为基础的精料用量，避免过度饲喂精料导致的亚急性瘤胃酸中毒。

制定理由：

提高日粮中精料与粗饲料比例，能够促进采食量，从而提高动物体重和产奶量，但不会增加瘤胃甲烷的绝对排放量，降低瘤胃甲烷排放强度。但是精料比例增加，会改变瘤胃发酵模式和降低瘤胃 pH 值，如果过度采食精料，则会造成瘤

胃亚急性酸中毒。亚急性酸中毒作为一种营养性疾病，会造成瘤胃发酵紊乱，纤维消化率和乳脂含量降低，严重时影响动物健康(Aguerre et al., 2011; Arndt et al., 2022)。

在保证瘤胃健康的前提下调整日粮结构，适当提高日粮中精料的占比，能够有效降低甲烷排放强度。饲喂精料水平为 30%、40%和 50%的日粮对应 9 月龄后备牛甲烷排放量分别为 117 g/d、107 g/d、97 g/d，甲烷能占总能比为 6.1%、5.0%和 4.2%；对应 12 月龄后备牛甲烷排放量为 159 g/d、133 g/d、119 g/d，甲烷能占总能比为 6.7%、5.0%和 4.4%；对应 15 月龄后备牛甲烷排放量为 230 g/d、215 g/d、194 g/d，甲烷能占总能比为 7.7%、6.7%和 5.7%。日粮精料水平从 30%提高到 50%，9 月龄后备牛甲烷排放量降低 17%，12 月龄后备牛降低 25%，15 月龄后备牛降低 16%（李斌昌，2019）。

### 5.3.3 适当降低日粮中性洗涤纤维/非纤维性碳水化合物（NDF/NFC）比例。

制定理由：

日粮不同中性洗涤纤维/非纤维性碳水化合物（NDF/NFC）的比例对不同泌乳期奶牛甲烷排放量有不同影响。泌乳高峰期奶牛（88±15d）日粮中 NDF/NFC 分别为 1.14（精粗比为 59:41）、1.30（精粗比为 53:47）和 1.55（精粗比为 44:56）时，甲烷排放量分别为 325 g/d、347 g/d、392 g/d；在泌乳中期奶牛（170±19d）日粮中 NDF/NFC 分别为 1.14（精粗比为 61:39）、1.65（精粗比为 53:47）和 1.82（精粗比为 46:54）时，甲烷排放量分别为 261 g/d、331 g/d、400 g/d；在泌乳后期奶牛（243±15d）日粮中 NDF/NFC 分别为 1.52（精粗比为 44:56）、1.96（精粗比为 37:63）和 2.10（精粗比为 30:70）时，甲烷排放量分别为 242 g/d、329 g/d、396 g/d。

日粮 NDF/NFC 从 1.55 降低至 1.14 时，泌乳高峰期奶牛瘤胃 CH<sub>4</sub> 排放量降低了 17.00%；日粮 NDF/NFC 从 1.82 降低至 1.44 时，泌乳中期奶牛瘤胃 CH<sub>4</sub> 排放量降低了 34.73%；日粮 NDF/NFC 从 2.10 降低至 1.52 时，泌乳后期奶牛瘤胃 CH<sub>4</sub> 排放量降低了 38.87%；且对泌乳牛产奶量、乳成分和日增重均没有影响（王贝，2019）。

### 5.3.4 通过补充适量的油脂提高泌乳奶牛日粮中脂肪含量。

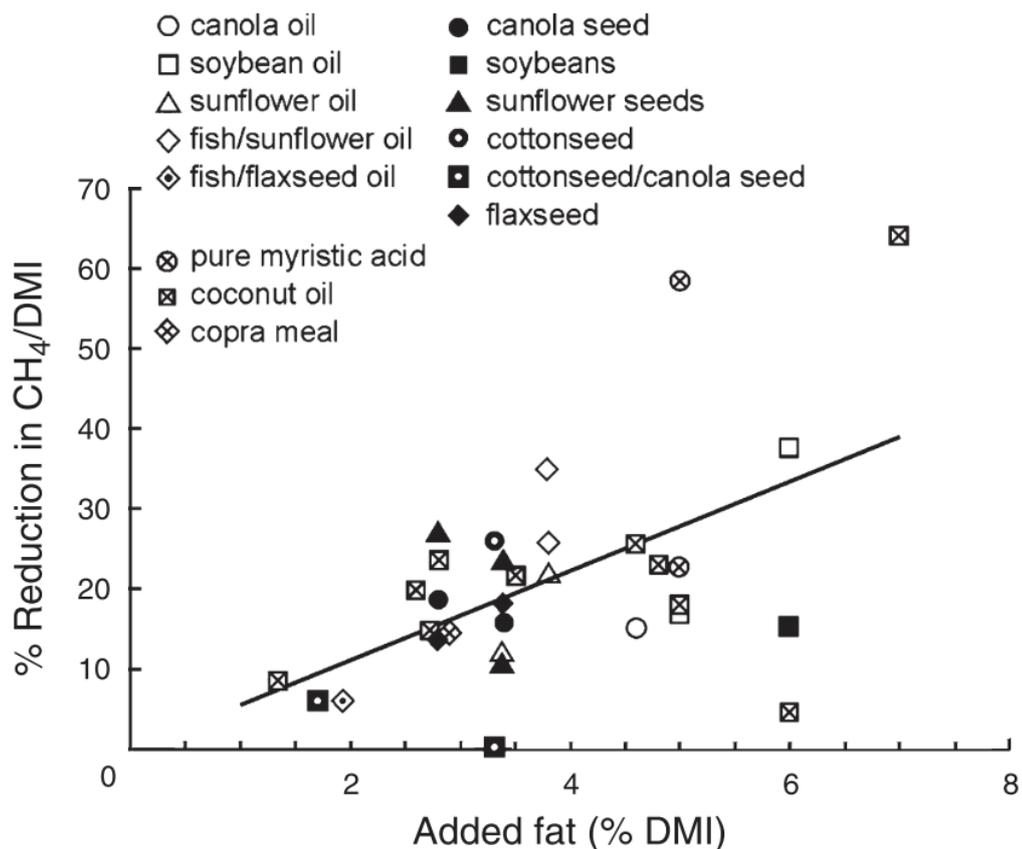
制定理由：

脂质补充能够在饲料颗粒上形成一层物理屏障，降低瘤胃中可发酵碳水化合物降解的比例。另外高脂肪含量日粮可以降低瘤胃中纤维的降解效率，从而降低由纤维发酵产生的乙酸和丁酸，改变瘤胃发酵模式。不饱和脂肪酸在瘤胃中可以被氢化（生物氢化），从而竞争性利用氢气转化成饱和脂肪酸。脂质补充能够减少瘤胃中原虫的数量，而原虫与产甲烷菌之间存在共生关系，减少原虫有助于降低产甲烷菌的活性。脂质具有高能量密度的特点，可能会降低干物质采食量。在选择脂质种类时，应优先考虑惰性脂质，如脂肪酸钙盐和硬脂酸盐，通常对干物质采食量影响较小，可以相对安全地增加日粮脂肪含量而不显著影响干物质采食量。在选用植物油时需注意，植物油富含不饱和脂肪酸，较高的添加量会显著降低干物质采食量，可能导致长期能量不足和产奶量下降。在实际应用中可以逐步增加脂质添加量，让奶牛的消化系统适应。在饲喂过程中观察奶牛食欲、反刍、粪便情况和产奶量，以便必要时调整饲喂策略(Beauchemin et al., 2008)。

但是在使用时需要考虑剂量使用：

**推荐范围：**通常情况下，奶牛日粮中的脂肪含量建议维持在 4%到 7%之间。基本日粮中脂肪含量为 4%到 5%，补充脂肪后可以增加到 6%到 7%。

**过量风险：**如果脂肪含量超过 7%，可能会导致干物质摄入量的减少，消化不良，甚至引起奶牛代谢紊乱（如酮症或酸中毒）。



#### 5.4 添加甲烷控制饲料添加剂

5.4.1 所用饲料添加剂应来源于《饲料添加剂品种目录》及其增补修订版本，使用范围和使用量应符合《饲料添加剂安全使用规范》的要求。

5.4.2 电子受体类。在日粮中添加富马酸、苹果酸、柠檬酸、甲酸和丙酸盐等电子受体。

制定理由：

电子受体作为氢的受体，饲喂后能够调控瘤胃发酵模式，通过转化生成为丙酸来竞争消耗氢。在瘤胃甲烷生成的过程中，氢是一个重要的前体物质，当氢被竞争性利用并被转用于其他代谢途径，如丙酸生成时，会降低瘤胃甲烷的生成。

Li 等(2021)研究结果表明，日粮中添加富马酸盐，能够调控瘤胃发酵模式，产生更多的丙酸；且显著降低甲烷短杆菌的相对丰度，最终实现抑制瘤胃甲烷产生。尤其是在高精料日粮模式时，添加富马酸盐减排效果更加显著。Asanuma 等

(1999)通过体外实验评估了富马酸作为饲料添加剂对减少瘤胃产甲烷的影响。大多数富马酸代谢为丙酸，其他挥发性脂肪酸略有增加。产琥珀酸纤维杆菌、瘤胃月芽孢杆菌亚种、乳酸菌亚种、小韦荣球菌和产琥珀酸沃林球菌使用富马酸作为最终电子受体氧化氢气，这表明这些细菌与产甲烷菌竞争利用氢气，而氢气是瘤胃产甲烷的主要底物。这些结果表明，在反刍动物饲料中添加富马酸可减少产甲烷并增加瘤胃中的丙酸产量。Remling 等(2014)报道中 600 克每天的添加量对奶牛的瘤胃酸碱平衡没有产生显著影响。Sniffen 等(2006)报道，向泌乳中期奶牛日粮中添加 50 克每天的苹果酸盐，能够提高奶牛产奶量，且不会影响乳成分和营养物质消化率。Yamada 等(2023)报告了 11 种有机酸的甲烷抑制效果，其中柠檬酸盐、富马酸盐、苹果酸盐等都表现出显著的甲烷抑制效果。

5.4.3 单宁类。在日粮中适当添加单宁类物质，应注意添加剂量过高会影响奶牛干物质采食量和饲料转化率。

制定理由：

单宁是一种多酚类化合物，是植物的生物活性成分，可分为水解单宁和缩合单宁。水解单宁能够直接抑制瘤胃产甲烷菌，缩合单宁能够抑制纤维消化，并且作为氢的受体，竞争性利用氢气来降低瘤胃甲烷产生。

单宁对动物生产性能的影响取决于单宁的来源和剂量，在适当的剂量下，单宁可以提高日增重和奶产量，但是高剂量的单宁会降低日粮的采食和消化率。另外添加单宁也能够减少尿氮排放。大多数研究使用的单宁剂量低于 40g/kgDM (Hegarty et al., 2021)

美国食品药品监督管理局 (FDA) 已将单宁作为食品添加剂，可以添加到饮料和肉产品中；2011 年底，意大利施华 (Silvateam) 动物营养领域的产品优可宝 (Nutri.P)，其主要成分为栗木单宁，顺利取得我国农业部批文并进入我国市场；欧盟于 2016 年批准单宁作为一种新型的饲料添加剂应用于部分畜禽。在我国，虽然《饲料添加剂品种目录 (2013)》中未将单宁酸单独列出，但该文件指出《食品安全国家标准食品添加剂使用卫生标准》(GB2760-2014) 中包含的食品用香料可用于饲料中作为香味剂使用，说明单宁酸可作为饲料添加剂用于动物饲料。加之单宁酸的生物学功能不断被挖掘，将其添加在动物饲料中具有较高的可行性。

5.4.4 精油类。在日粮中添加精油以调控瘤胃发酵模式，降低瘤胃甲烷产生。

制定理由：

精油中的活性化合物（如单萜类、酚类化合物）能够抑制瘤胃中产甲烷菌的活性，这些活性化合物能够破坏微生物细胞膜的完整性和功能，降低产甲烷菌的数量(Calsamiglia et al., 2007; Patra and Yu, 2012)。另外，添加精油能够影响瘤胃发酵，尤其是能够影响纤维分解菌活性和产氢菌的活性，从而减少甲烷生成前提物质（如氢气和甲酸等）(Benchaar and Greathead, 2011)。Rofiq 等(2021)评估了六种精油（大蒜、丁香、百里香、肉桂、薄荷和橙皮）对体外瘤胃甲烷生产的影响，发现这六种精油在六小时发酵中均能减少甲烷的产生。一种精油混合物将甲烷排放减少了 10%(Belanche et al., 2020)。

添加低剂量精油一般不会对奶牛的采食量和产奶量产生负面影响，但是高剂量时会影响采食量和生产性能(Benchaar and Greathead, 2011)。另外，高剂量精油会抑制纤维分解菌的活性，从而降低纤维物质的消化率(Calsamiglia et al., 2007)。精油能够通过改变脂质代谢，从而影响乳成分。另外精油具有抗菌和抗氧化特性，会对奶牛的健康状况产生积极影响(Hart et al., 2008; Patra and Yu, 2012)。

5.4.5 益生菌类。在日粮中添加枯草芽孢杆菌、植物乳杆菌、地衣芽孢杆菌和酿酒酵母等，改善奶牛生产性能，降低甲烷排放强度。

制定理由：

枯草芽孢杆菌作为饲料添加剂具有巨大的应用潜力，它是一种革兰氏阳性孢子形成菌，可以在各种动物的胃肠道中存活和产生孢子(Chang et al., 2021)。Deng 等(2021)和 Souza 等(2017)观察到芽孢杆菌增加了奶牛 DMI、纤维消化率和平均日增重，并有提高氮利用率和牛奶产量的潜力，但对奶牛的血液代谢产物没有负面影响。Jia 等(2023)研究发现，添加枯草芽孢杆菌提高了奶牛的干物质采食量和产奶量，并且提高了乳脂、乳蛋白、总乳固体含量。虽然添加枯草芽孢杆菌对绝对甲烷排放量没有显著影响，但是显著降低了甲烷排放强度。

酵母作为一种益生菌添加剂，在反刍动物饲料中应用广泛。它能够通过调节瘤胃的微生物群落和发酵过程，提高饲料的利用率和动物的生产性能。一项关于酿酒酵母在奶牛中应用效果分析表明，补充酵母增加了瘤胃 pH 值、挥发性脂肪

酸浓度、干物质采食量和产奶量，并降低了瘤胃乳酸浓度，但对乳成分无影响 (Desnoyers et al., 2009)。

5.4.6 其他。采用各类饲料添加剂提高泌乳牛生产性能，可在一定程度上降低单位标准乳的甲烷排放量。

5.4.7 饲料添加剂在日粮中的添加量很少，应确保添加剂在日粮中剂量准确且混合均匀。

## 6 牛群管理

### 6.1 保障奶牛健康

6.1.1 保障奶牛健康可更高效地将饲料投入转化为畜产品，提高奶牛产奶量、繁殖性能和奶牛生产寿命，从而减少甲烷排放强度和碳排放量。

制定理由：

生病的动物会消耗更多的饲料资源和水，同时生长速度和生产性能也会减弱。当一头动物因疾病而死亡时，意味着必须重新投入资源饲养另一头动物，以满足市场需求。这意味着疾病会导致单位牛奶的温室气体水平升高，因为最终需要更多的动物和资源来维持生产。

越来越多的证据表明，解决牲畜的特定疾病和健康状况在减少温室气体排放方面可以发挥关键作用。改善动物健康不仅有助于整体生产力的提高，还可以降低每单位畜产品的排放量。健康的动物因其较低的死亡率和较好的健康状况而提高了生产力和生长率，从而减少了温室气体排放 (FAO, 2023)。

改善动物健康可减少 10% 的温室气体排放，全球潜在减排量预计为每年 0.2 Gt CO<sub>2</sub> 当量 (Skuce, 2022)。由于疾病发生率高且预防或治疗资源有限，低收入和中等收入国家通过健康干预减少排放的潜力更大 (Özkan 等, 2022)

6.1.2 采取措施减少奶牛蹄病（蹄炎、白线病、蹄溃疡）、亚临床酮病以及乳房炎的发病率。

制定理由：

跛行是奶牛最重要的疾病之一，影响奶牛的福利和生产性能。奶牛的跛行与蹄病（蹄炎、白线病、蹄溃疡）密切相关，这些病变可能导致牛奶产量下降、犊

间隔延长和淘汰率增加。

每例奶牛蹄病（蹄炎、白线病、蹄溃疡）会使温室气体排放平均增加 14 kg CO<sub>2</sub>-e/t FPCM（每千克脂肪和蛋白校正乳）。每例蹄炎会使得温室气体排放量平均增加 4 kg CO<sub>2</sub>-e/t FPCM，每例白线病增加 39 kg CO<sub>2</sub>-e/t FPCM，每例蹄溃疡 33 kg CO<sub>2</sub>-e/t FPCM（MOSTERT et al, 2018）。跛行对温室气体排放增加的主要原因是由于淘汰增加、犊间隔延长和牛奶产量减少。预防不同类型的蹄病可以减少乳制品行业的温室气体排放。

亚临床酮病（SCK）是奶牛在分娩前后出现的机体代谢紊乱，会增加其他疾病的风险，例如乳腺炎、子宫炎、乳房炎、跛行和临床酮病等。MOSTERT 等(2018)使用动态随机模拟模型结合生命周期评估（LCA）来评估 SCK 对牛奶生产温室气体排放的影响。每发生一例 SCK，温室气体排放平均增加 20.9 kg CO<sub>2</sub>-e/t FPCM，范围在 6.8 到 48.0 之间。排放量增加的原因是产犊间隔延长（31%）、废弃奶（30%）、产奶量减少（19%）和奶牛淘汰（20%）（MOSTERT et al., 2018）。减少 SCK 和相关疾病在奶牛群中的发生率可以有效减少单位奶产量的温室气体排放。除了减少温室气体排放外，降低 SCK 的发生率还能够提高牧场的盈利能力以及奶牛的动物福利，是一种可持续发展的策略。

临床乳腺炎（CM）是一种常见的奶牛乳腺内感染疾病，会导致牛奶产量和生育能力下降，以及增加淘汰率和死亡率，从而对牛奶生产效率产生负面影响，进而可能增加每单位产品的温室气体排放。与健康奶牛相比，患有临床乳房炎奶牛的排放量平均增加了 57.5 kg CO<sub>2</sub>-e/t FPCM。这种增加是由淘汰（39%）、废弃奶（38%）、产奶量减少（17%）和产犊间隔延长（6%）引起的(Mostert et al., 2019)。降低 CM 的发生率不仅能够减少温室气体排放，还可以提高农场收益和动物福利。

### 6.1.3 延长奶牛生产寿命，提升牧场生产效率，降低甲烷排放强度。

制定理由：

一项基于 30 头不同生产寿命奶牛的研究，评估了奶牛在当前生产状态下的温室气体排放、整个生命周期的温室气体排放，以及与其生产寿命相关的盈利能力。不同生产寿命奶牛的收入、成本和利润结果显示，生产寿命少于一年的奶牛

普遍亏损。主要由替换奶牛的成本主导，占总成本的 54%到 60%。对于生产寿命超过一年的奶牛，所有奶牛都产生了利润，利润在每头奶牛每年 314 到 2567 欧元之间变化。随着生产寿命的增加，替换成本在总成本中的占比从 38%降至 9%。

综合来看，生产寿命长的奶牛在排放强度和盈利能力方面表现最好。初产奶牛的产奶量低于经产奶牛，通过延长奶牛的生产寿命，提升牧场生产效率，降低甲烷排放强度(Grandl et al., 2019)。

**6.1.4 缩短奶牛的初次产犊年龄，减少奶牛产生效益前的投入，达到降低甲烷排放的目的。**

制定理由：

缩短奶牛的初次产犊年龄（奶牛从出生到产犊之间的非生产期），将减少奶牛产生效益前的投入，达到降低甲烷排放的目的(Dall-Orsoletta et al., 2019)。

## **6.2 优化牛群结构**

及时清除无价值或低价值奶牛，保持牛群的优异生产性能，通过减少奶牛畜群数量、提升畜群质量来实现降低甲烷排放强度的效果。

制定理由：

淘汰低价值奶牛后，牛群的平均生产水平提高，因为剩余的奶牛通常是高产且健康的。这可以增加每单位饲料投入的产奶量，从而提高饲料转化效率。低价值奶牛在生产相同量的牛奶时通常排放更多的甲烷。因此，通过淘汰这些奶牛，可以降低每单位牛奶产量的甲烷排放强度。

## **6.3 优化后备牛管理**

对后备牛实施精细化饲养管理，定期称重监控生长速度、优化饲料配方、制定科学的配种计划等，提高后备牛的生长速度，缩短奶牛的初产月龄。

制定理由：定期称重可以帮助及时了解后备牛的生长状态，确保其在各个阶段都达到预期的生长目标。这可以避免因生长迟缓导致的延迟初产。通过生长数据分析，能够及早识别生长偏离正常轨迹的个体，采取必要的营养补充和管理调整，防止生长停滞。根据后备牛的生长阶段和营养需求，制定科学的饲料配方，

确保提供足够的能量、蛋白质、维生素和矿物质。在保证健康的前提下，适当增加饲料中的能量密度，有助于提高日增重，促进快速生长。通过监测后备牛的体重和体高，确定其达到适宜的配种体重和体高时进行配种，避免因过早或过晚配种导致的生育问题。通过精细化管理，可以有效缩短奶牛的初产月龄，提高整个生产周期的效率。通过提高后备牛的生长和繁殖效率，可以减少单头奶牛生命周期内的温室气体排放，促进可持续发展。

## 7 粪污管理

7.1 粪污处理需符合 GB/T 36195 和 NY/T 1168 的要求。

7.2 周期性地将粪污从牛舍地板清除并进行固液分离，减少甲烷和一氧化二氮等气体的排放。

7.3 对粪便清除设备进行周期性地维护，并选择合适的清理频率，降低对电能的过度消耗。

制定理由：

固液分离技术在粪便管理中具有重要作用，它能显著减少甲烷和一氧化二氮的排放。通过机械或化学手段将粪便中的固体颗粒与液体分开，可以降低粪便中有机物质的浓度，减少在厌氧条件下甲烷的生成。分离后的液体在进行二次处理后，悬浮物和氮氧化物含量显著降低，可以作为农家肥使用，而固体部分可以用于堆肥或其他用途。这一过程不仅减少了温室气体排放，还能提高粪便资源的利用效率。周期性地清除牛舍地板上的粪污并进行固液分离，有助于控制气味和污染物的扩散，从而减少对环境的影响。

定期维护设备可以防止机械故障和效率降低，确保清除过程的顺利进行。同时，定期检查和保养有助于延长设备的使用寿命，降低长期运营成本。根据牛舍的使用情况和粪污产生量，选择适当的清理频率以减少不必要的能源消耗。过于频繁的清理可能导致能耗和设备损耗过高，而过少的清理则可能导致粪便堆积，影响环境和动物健康。优化清理设备的操作方式和工作时间，可以显著降低能源消耗。此外，使用高效节能设备也是减少能源使用的一种有效途径。

7.4 对储存粪便的露天氧化塘进行覆盖，减少储粪池中粪尿发酵产生的甲烷等温室气体排入大气。覆盖物宜使用透过性覆盖物（珍珠岩、油脂、粘土球、织布或塑料等）或生物性覆盖物（玉米秆、锯屑、木屑、谷壳等）。

制定理由：

氧化塘是一种利用天然净化能力对粪污进行处理的构筑物的总称。通常是将土地进行适当的人工修整，建成池塘，并设置围堤和防渗层，依靠塘内生长的微生物处理粪污（DB34/T 3486）。对露天的氧化塘进行覆盖能够减少储粪池中粪尿发酵产生的甲烷、氨气和氧化亚氮等释放到大气中。

但是不同的覆盖物材质对温室气体减排效果不同。在粪便储存管理中，半透膜覆盖指的是一种允许某些气体或水蒸气通过，但限制其他气体通过的覆盖物。这类覆盖物通常由具有特定孔隙结构的材料制成，可以控制气体交换的速率，从而影响氨气、甲烷和氧化亚氮的排放。半透膜的孔隙允许空气和气体的有限通过，这意味着它们能够阻止大部分挥发性气体（如氨气和甲烷）的逸出，但仍允许水蒸气和部分气体通过，以调节内部气体压力。这种膜覆盖有助于在表面保持有氧条件，有利于硝化作用，但在膜下形成低氧环境，这可能促进反硝化作用，从而导致氧化亚氮的生成。透膜覆盖能够有效减少氨气和甲烷的排放，但往往会增加氧化亚氮的排放。这是因为膜的结构设计使其适合在特定条件下控制气体的释放和转化(Montes et al., 2013)。常见的半透膜包括稻草、木屑、半透塑料膜、粘土球等。

用不透膜覆盖粪便储存是一种有效的缓解措施，前提是捕获的甲烷通过燃烧器或发动机发电机组燃烧以产生电力。否则，捕获的甲烷会在储存内部积聚压力，造成爆炸危险或覆盖物破裂。不透膜覆盖物的有效性取决于将收集到的气体转化为对环境影响较小的温室气体，如氮氧化物（NO<sub>x</sub>）和二氧化碳。

Chadwick (2005) (Chadwick, 2005)进行了一项实验，测试压实和覆盖牛粪对温室气体排放的影响。实验结果表明，用塑料薄膜覆盖和压实可以将牛粪中氨气和氧化亚氮（N<sub>2</sub>O）的排放量分别减少 90%和 30%。然而，压实和覆盖在粪便内部形成了厌氧环境，导致甲烷排放量增加。

在粪便储存过程中，粪便表面会自然形成硬壳，这可以防止粪便中产生的氨

气逸出。Smith 等(2007)的试验表明,与没有硬壳的粪便相比,自然形成的硬壳可以将氨气排放减少超过 60%。除了减缓氨气损失,粪便浆液表面的硬壳还可以减少甲烷排放。Petersen 和 Ambus(2006)的研究结果表明,粪便浆液的硬壳中存在甲烷氧化细菌,这些细菌将甲烷氧化为二氧化碳,从而实现减排,因为甲烷是一种比二氧化碳更强的温室气体。

稻草覆盖通常用于小型粪便储存设施,能减少氨气、硫化氢和臭气的排放。覆盖厚度通常为 4 至 12 英寸,效果随厚度增加而提升,可在一定程度上减少气味和气体排放。使用木屑覆盖时,与稻草类似,但维护频率较低,适合在稻草短缺时期使用(Bicudo et al., 2004)。

7.5 通过向粪便中添加木醋液、磷酸和稀硫酸等进行粪污酸化处理,抑制粪便中产甲烷菌的活性,从而降低甲烷和氨气的排放。处理每吨粪浆所需酸化剂的用量,木醋液在 30 kg~60 kg,磷酸和硫酸在 3 kg~6 kg。

制定理由:

通过向粪便中添加酸(如硫酸),可以降低粪便的 pH 值,通常目标 pH 值设定在 5.5 或更低。pH 值的降低会改变铵离子( $\text{NH}_4^+$ )和氨( $\text{NH}_3$ )之间的平衡,使得氨气更多地以非挥发性的铵离子形式存在,从而减少氨气的挥发和排放。另外,甲烷的产生主要有厌氧条件下的产甲烷菌作用,通过降低粪便的 pH 值,酸化可以抑制这些微生物的活性,从而降低甲烷的产生(Overmeyer et al., 2023)。Petersen 等(2012)研究表明,通过使用硫酸将牛粪的 pH 值调至 5.5,可以显著减少甲烷的释放。研究表明,经过酸化处理的牛粪在储存过程中的甲烷排放减少了 67%到 87%。尤其是对老化牛粪(较新鲜的牛粪具有更高的甲烷生产潜力)效果显著。

SOKOLOV 等(2019)研究表明,与未处理的粪便相比,中等 pH 和低 pH 处理将甲烷排放量分别减少了 87%和 89%。中等 pH 和低 pH 处理将氨气排放量分别减少了 41%和 53%。相对于未处理的粪便,中等 pH 和低 pH 处理减少了 85%和 88%的总温室气体排放。

在河北省地方标准《集约化奶牛养殖粪污保氮固磷技术规程》中提到,酸化剂宜选用木醋液,也可选用磷酸、稀硫酸等酸性物质,并给出了推荐用量。

7.6 通过厌氧发酵生产出沼气，作为新能源供应牧场，减少其它化石能源的使用。沼气生产结束后的沼渣、沼液，仍含有大量的可降解有机物，应通过覆盖物或酸化的形式进行处理，以降低甲烷的排放。

制定理由：

厌氧消化能够利用微生物在无氧环境下分解有机物，从而产生沼气（主要成分是甲烷），可以用于发电或作为热源供应牧场。厌氧消化主要涉及水解、酸化、产乙酸、产甲烷等阶段，能够有效降低畜禽粪污中有机物的含量，减少粪污体积。沼液和沼渣可以作为农用肥料回田。

厌氧消化的工艺环节：畜禽粪污经匀浆池调节水质水量后，提升到厌氧消化池。厌氧消化池产生的沼气经净化后再利用，出料经固液分离后，沼渣可以制备有机肥后回田利用，沼液除部分回流外，其余部分可作为液体肥料利用或进一步处理。

《畜禽养殖污染防治最佳可行技术指南》推荐的工艺类型及技术适用性

#### 1. 连续搅拌反应器（CSTR）技术

连续搅拌反应器技术是指在一个密闭厌氧消化池（或罐体）内完成料液的发酵、产生沼气的技术。发酵原料的含固率通常在 8%左右，通过搅拌使物料和反应器内微生物处于完全混合状态，一般采用机械搅拌。投料方式采用连续投料或半连续投料运行，反应器一般运行在中温条件(33~35℃)，在中温条件下的停留时间为 20~30d。该技术可以处理高悬浮固体含量的原料，消化器内物料均匀分布，避免了分层状态，增加了物料和微生物接触的机会。该工艺处理能力大，产气效率较高，便于管理，适用于超大和大型沼气工程。

#### 2. 升流式固体厌氧反应器（USR）技术

升流式固体厌氧反应器技术是指原料从底部进入反应器内，与反应器里的厌氧微生物接触，使原料得到快速消化的技术。未消化的有机物和厌氧微生物靠自然沉降滞留于反应器内，上清液从反应器上部溢出，使固体与微生物停留时间高于水力停留时间，从而提高了反应器的效率。相比 CSTR 反应器，USR 反应器拥有更大的高径比，通常大于 1.2。同时，USR 技术对布水均匀性要求较高，需设

置布水器（管）。为了防止反应器顶部液位高度发生结壳现象，应在反应器顶部设置喷淋管。USR 运行温度与停留时间与 CSTR 基本相同，目前国内多采用中温发酵。该技术优点是处理效率较高，管理简单，运行成本低，适用于中、小型沼气工程。

### 3. 升流式厌氧污泥床（UASB）技术

UASB 由污泥反应区、气液固三相分离器（包括沉淀区）和气室三部分组成。在底部反应区内存留大量厌氧污泥。污水从厌氧污泥床底部流入与污泥层中的污泥进行混合接触，污泥中的微生物将有机物转化为沼气。污泥、气泡和水一起上升进入三相分离器实现分离。UASB 可在高温条件（50~55℃）及中温条件（35℃）下运行，对于畜禽养殖废水，通常采用中温发酵。UASB 反应器污泥床高度一般为 3~8m，沉淀区表面负荷约  $0.7 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ，进入沉淀区前，通过沉淀槽底缝的流速不大于  $2 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 。同时，由于畜禽养殖废水中悬浮物含量较高，因此畜禽养殖废水 UASB 有机负荷不宜过高，采用中温发酵时，通常为  $10 \text{ kg COD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$  左右。该技术优点是反应器内污泥浓度高，有机负荷高，水力停留时间长，无需混合搅拌设备。缺点是：进水中悬浮物需要适当控制，不宜过高，一般在  $100 \text{ mg/L}$  以下；对水质和负荷突然变化较敏感，耐冲击力稍差。适用于大中型养殖场污水处理的预处理。

### 沼气热电联产技术

沼气热电联产技术是指利用以沼气为燃料的发电机组，以及配套的余热回收系统，将沼气转化为电能和热能。一般沼气 30%~40%可利用的能量以电能形式回收， $1\text{Nm}^3$  沼气发电  $1.0\sim 1.5 \text{ Kw}\cdot\text{h}$ 。剩余能量大部分以热能形式回收，一般占沼气 40%~50%可利用的能量。该技术适用于大中型养殖场发电自用或发电并网，发电前需对沼气进行脱硫、脱水处理。

### 沼气直燃技术

沼气直燃技术是指采用沼气直接燃烧以产生热能，通过锅炉或专用灶具实现沼气能量的利用。沼气的热值为  $35.9 \text{ MJ}/\text{m}^3$ ，与煤炭相当。该技术适用于中小型养殖场或沼气工程沼气自用或居民集中供气，直燃前需对沼气进行脱硫、脱水处

理。

#### 沼渣、沼液土地利用技术

沼渣、沼液养分含量较为全面，含有丰富的氮、磷、钾，氨基酸、微量元素、B族维生素、各种水解酶、有机酸和腐殖酸等生物活性物质，刺激作物生长，增强作物抗逆性及改善产品品质，是优质的有机肥料，可广泛应用于农业、园林绿化、林地、土壤修复和改良等领域。

7.7 堆肥时，在人工控制条件下（水分、碳氮比和通风等），通过微生物的发酵，使粪污中有机物被降解，并生产出适用于土地利用的产物。堆肥的关键参数宜为，水分含量40%~70%，氧气供应 $>0.5\text{ mg/L}$ ，堆体孔隙率30%~60%，碳氮比20~35，堆肥温度 $>50^{\circ}\text{C}$ 堆肥1周或 $>45^{\circ}\text{C}$ 以上堆肥2周。

7.8 堆肥后的固体粪便可用作牛场的垫料，以降低垫料成本，并为奶牛提供舒适环境。

制定理由：

堆肥管理是降低奶牛粪便甲烷排放的关键措施之一。通过堆肥，粪便能够在好氧条件下进行分解，从而降低甲烷的产生，同时将粪便转化为有价值的肥料进行再利用。

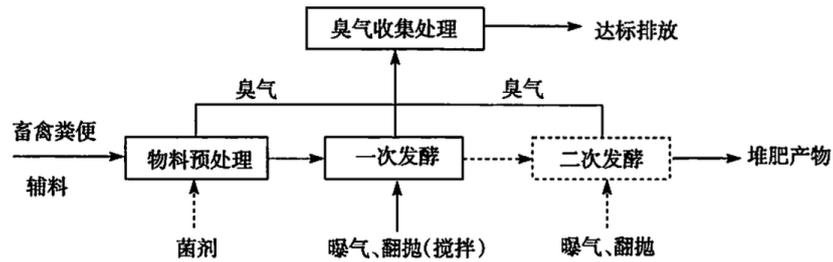
堆肥的原理：堆肥是通过微生物在好氧条件下，在一定水分、C/N比和通风条件下，通过微生物的发酵作用，分解粪便和其他有机物的过程。粪便和卧床垫料提供碳和氮基质，在适当的温度、湿度和氧气条件下，微生物利用有机物质作为能量来源，将其分解成简单的化合物，最终产物是腐殖质，一种富含养分的稳定有机物。

堆肥的场地要求：

- 1) 畜禽粪便堆肥选址及布局应符合 GB/T 36195 的规定
- 2) 原料存放区应防雨防火防水
- 3) 发酵场地应配备防雨和排水设施。堆肥过程中产生的渗滤液应收集储存，防止渗滤液渗漏。
- 4) 堆肥成品存储区应干燥、通风、防晒、防破裂、防雨淋。

畜禽粪便堆肥流程见图：现代化的堆肥生产技术一般采用好氧堆肥工艺，通

常由预处理、主发酵（一次发酵）、后发酵（二次发酵）、后处理、脱臭和贮存等工序组成。



注:实线表示必需步骤,虚线表示可选步骤。

图 1 畜禽粪便堆肥工艺流程

实现堆肥的关键条件:

- 1)物料含水率为 45%~65%
- 2)碳氮比 (C/N) 为 (20:1) ~ (40:1)
- 3)粒径不大于 5cm
- 4)pH 为 5.5~9.0
- 5)堆肥过程中可添加有机物料腐熟剂, 接种量宜为堆肥物料质量的 0.1%~0.2%。腐熟剂应获得管理部门产品登记。
- 6)堆体温度达到 55℃ 以上, 条垛式堆肥维持时间不得少于 15 天、槽式堆肥维持时间不少于 7 天、反应器堆肥维持时间不少于 5 天。
- 7)堆体温度高于 65℃ 时, 应通过翻堆、搅拌、曝气降低温度。
- 8)堆体内部氧气浓度不小于 5%, 曝气风量宜为 0.05 m<sup>3</sup>/min~0.2 m<sup>3</sup>/min (以每立方米物料为基准)

堆肥过程中产生的臭气应进行有效收集和处理, 经处理后的恶臭气体浓度符合 GB 18596 的规定

固体畜禽粪便经过堆肥处理后应符合 GB/T 36195 的卫生学要求

根据《畜禽养殖污染防治最佳可行技术指南》建议:

1)小型规模的养殖场可采用自然堆肥, 即在自然条件下将粪便拌均摊晒, 降低含水率的同时, 粪便在好氧菌的作用下进行发酵腐熟。具有投资小、易操作、成本低等特点。

2)中小型规模的养殖场可采用条垛式主动供氧堆肥, 即将混合堆肥物料成条

垛堆放，通过人工或机械设备对物料进行不定期的翻堆，通过翻堆实现供氧。该技术具有成本低，但占地面积大，处理时间长等特点。

3)大中型规模的养殖场可采用机械翻堆堆肥，即利用搅拌机或人工翻堆机对肥堆进行通风排湿，使粪污均匀接触空气，粪便利用好氧菌进行发酵，并使堆肥物料迅速分解。该技术具有操作简单，生产环境较好等特点。

4)大中型规模的养殖场可采用转筒式堆肥，即在可控的旋转速度下，物料从上部投加，从下部排出，物料不断滚动而形成好氧的环境来完成堆肥。该技术具备自动化程度高，投资相对较低，生产环境较好等特点。

相关标准：（NY/T 3442-2019）、（DB37： T 3591-2019）、（DB53/T 982-2020）、（GBT36195）

## **8 能源管理**

### **8.1 可再生能源生产**

可再生能源生产包括沼气能、风能和太阳能等绿色能源，利用再生能源满足牧场部分需求并对环境产生积极影响。

制定理由：

可再生能源的生产在规模化奶牛场的可持续发展中起着至关重要的作用。首先，沼气能作为可再生能源之一，通过厌氧消化技术将奶牛粪便和其他有机废弃物转化为可燃性气体，不仅能够有效减少温室气体的排放（如甲烷），还能够通过燃烧产生热能和电能，为牧场提供稳定的能源供应。此外，风能和太阳能等绿色能源技术的应用，能够有效减少对化石燃料的依赖，降低碳排放。

利用这些可再生能源，不仅有助于减少奶牛场的碳足迹，还可以降低能源成本，提高能源利用效率。通过整合沼气能、风能和太阳能等多种可再生能源，奶牛场能够实现部分的能源自给自足，减少对外部能源的依赖。同时，综合利用这些绿色能源能够改善牧场的的环境绩效，降低生产对生态系统的负担。

### **8.2 节省化石能源使用**

8.2.1 降温节能。通过搭建遮阴棚、运行牛舍智能温控调节设备、配制节能电扇等措施降低奶牛场夏季降温所产生能耗。

8.2.2 照明节能。用荧光灯、钠灯和 LED 灯等节能灯替代传统的钨丝白炽灯，采用感光器调节舍内光照，安装通风口或屋顶窗户增加自然光进入圈舍。

制定理由：

为缓解奶牛热应激，通过机械设备实现物理降温是奶牛场夏季能耗的主要源头。通过搭建遮阴棚、精准控制牛舍通风量、以及使用节能电扇等措施，可以有效降低奶牛场在夏季的降温能耗。引入智能温控系统，通过温度传感器自动调节通风设备和降温装置的运行，确保在不同时间和温度条件下优化能耗。进一步提高能源利用效率，减少不必要的损耗。这些方法不仅减少了对化石能源的依赖，降低了温室气体排放，还能优化奶牛的生活环境，减轻热应激对奶牛健康和生产性能的不利影响。

照明系统是牧场设施能源消耗的一个主要来源，传统钨丝白炽灯效率低下，能耗高，而采用荧光灯、钠灯和 LED 灯等节能照明设备，可以显著降低电力消耗。此外，通过安装调光器和感光器，实现对人工照明的自动调节，以及增加自然光进入牛舍的设计，可以最大限度地减少对人工光源的依赖，从而进一步降低化石能源的消耗。这些节能措施不仅减少了电力需求和运营成本，还减少了能源消耗所带来的环境负担。

### 三、主要试验或验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

#### （一）主要试验或验证的分析、综述报告

本技术指南主要基于国内外现有的瘤胃甲烷减排技术和相关研究成果进行总结和归纳。通过不同规模化奶牛场的实地调研和数据收集，对以下减排技术进行了重点分析和论证。在饲养管理方面，重点评估了日粮组成和结构改变，特别是优化饲料原料与添加剂的使用，能够显著降低奶牛的甲烷排放或甲烷排放强度。在牛群管理方面，重点关注延长奶牛的生产寿命、缩短初次产犊年龄、淘汰无价值和低价值牛群等策略，在试验中已经被验证可以提高奶牛群的整体生产效率，减少单位牛奶产量的甲烷排放强度。在粪污管理方面，重点关注了粪便的定期清除、覆盖氧化塘、以及粪便酸化等管理措施，这些措施不仅能有效减少甲烷排放，还提升了粪便资源化利用率。在规模化奶牛场中，厌氧发酵技术与沼气发电系统

的结合，显著提高了能源的利用效率。

## **（二）技术经济论证、预期的经济效果**

从技术经济论证来看，规模化奶牛场的甲烷减排技术不仅能够降低温室气体排放实现生态效益，还能在提高能源效率、优化资源管理、和提升生产效益方面实现经济效益。在饲养管理方面，通过精准饲喂技术能够降低饲料浪费，每头奶牛年均饲料成本下降。同时，使用饲料添加剂如富马酸盐和益生菌等，虽然会增加饲养成本，但其通过提高饲料转化效率和减少甲烷排放所带来的环境和经济效益得到平衡。在牛群管理方面，通过提高奶牛的寿命和生产能力，减少了替换牛群的需求，降低每头奶牛的生产成本。优化后的牛群管理策略不仅减少了甲烷排放，还提升了奶牛群体的生产效率，降低单位牛奶产出的甲烷排放强度。在粪污管理与沼气能源生产方面，实施沼气发电技术，可减少牧场自用电力，同时通过粪便管理的改进，牧场生产的有机肥质量提升，增加了有机肥的市场竞争力，每年可为牧场带来额外的收入。通过推广这些技术，不仅提升了牧场的的环境表现，还增强了牧场在绿色发展和可持续农业领域的市场竞争力。

## **四、采用国际标准和国外先进标准的程度**

经过大量的查阅资料与文献收集，未见有相关的国际标准。

## **五、与现行法律、法规、强制性标准的关系**

相关的法律、行政法规有《饲料和饲料添加剂管理条例》，该条例规范了饲料和饲料添加剂的生产、经营和使用等。本标准的制定符合上述条例。

相关强制性标准有 GB/T 36195 畜禽粪便无害化处理技术规范，本标准的制定符合上述标准要求。

## **六、重大分歧意见的处理经过和依据**

无。

## **七、涉及专利的有关说明**

无。

## **八、贯彻标准的要求和措施建议**

本标准发布后，应广泛组织宣传贯彻，指导各省市玉米秸秆饲料化利用工作，有助于生产企业提高产品质量，促进秸秆资源的高效转化。

九、废止现行有关标准的建议

无。

十、其他应予说明的事项

无。

## 参考文献:

- Aguerre, M.J., M.A. Wattiaux, J.M. Powell, G.A. Broderick, and C. Arndt. 2011. Effect of forage-to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. *J Dairy Sci* 94:3081–3093. doi:10.3168/jds.2010-4011.
- Arndt, C., A.N. Hristov, W.J. Price, S.C. McClelland, A.M. Pelaez, S.F. Cueva, J. Oh, J. Dijkstra, A. Bannink, A.R. Bayat, L.A. Crompton, M.A. Eug ene, D. Enahoro, E. Kebreab, M. Kreuzer, M. McGee, C. ecile Martin, C.J. Newbold, C.K. Reynolds, A. Schwarm, K.J. Shingfield, J.B. Veneman, D.R. Y, and Z. Yu. 2022. Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5 °C target by 2030 but not 2050. *PNAS* 119:1–10. doi:10.1073/pnas.
- Asanuma, N., M. Iwamoto, and T. Hino. 1999. Effect of the Addition of Fumarate on Methane Production by Ruminal Microorganisms In Vitro. *J Dairy Sci* 82:780–787. doi:10.3168/jds.S0022-0302(99)75296-3.
- Beauchemin, K.A., M. Kreuzer, F. O'Mara, and T.A. McAllister. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: A review. Pages 21–27 in *Australian Journal of Experimental Agriculture*.
- Belanche, A., C. Newbold, D. Morgavi, A. Bach, B. Zweifel, and D. Yáñez-Ruiz. 2020. A Meta-analysis Describing the Effects of the Essential oils Blend Agolin Ruminant on Performance, Rumen Fermentation and Methane Emissions in Dairy Cows. *Animals* 10:620. doi:10.3390/ani10040620.
- Benchaar, C., and H. Greathead. 2011. Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Anim Feed Sci Technol* 166–167:338–355. doi:10.1016/J.ANIFEEDSCI.2011.04.024.
- Bicudo, J.R., Schmidt, D.R., and Jacobson, L.D. 2004. Using Covers to Minimize Odor and Gas Emissions from Manure Storages. *Agricultural Engineering Extension Publications*. 10. [https://uknowledge.uky.edu/aen\\_reports/10](https://uknowledge.uky.edu/aen_reports/10)
- Calsamiglia, S., M. Busquet, P.W. Cardozo, L. Castillejos, and A. Ferret. 2007. Invited

- Review: Essential Oils as Modifiers of Rumen Microbial Fermentation. *J Dairy Sci* 90:2580–2595. doi:10.3168/jds.2006-644.
- Chadwick, D.R. 2005. Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atmos Environ* 39:787–799. doi:10.1016/J.ATMOSENV.2004.10.012.
- Chang, M., F. Ma, J. Wei, J. Liu, X. Nan, and P. Sun. 2021. Live *Bacillus subtilis* natto Promotes Rumen Fermentation by Modulating Rumen Microbiota In Vitro. *Animals* 11:1519. doi:10.3390/ani11061519.
- Dall-Orsoletta, A.C., S. Leurent-Colette, F. Launay, H.M.N. Ribeiro-Filho, and L. Delaby. 2019. A quantitative description of the effect of breed, first calving age and feeding strategy on dairy systems enteric methane emission. *Livest Sci* 224:87–95. doi:10.1016/J.LIVSCI.2019.04.015.
- Deng, B., L. Wang, Q. Ma, T. Yu, D. Liu, Y. Dai, and G. Zhao. 2021. Genomics Analysis of *Bacillus megaterium* 1259 as a Probiotic and Its Effects on Performance in Lactating Dairy Cows. *Animals* 11:397. doi:10.3390/ani11020397.
- Desnoyers, M., S. Giger-Reverdin, G. Bertin, C. Duvaux-Ponter, and D. Sauvant. 2009. Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *J Dairy Sci* 92:1620–1632. doi:10.3168/jds.2008-1414.
- Eugène, M., K. Klumpp, and D. Sauvant. 2021. Methane mitigating options with forages fed to ruminants. *Grass and Forage Science* 76:196–204. doi:10.1111/gfs.12540.
- FAO. 2023. Pathways towards lower emissions – A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems. Rome
- Fischer, A., N. Edouard, and P. Faverdin. 2020. Precision feed restriction improves feed and milk efficiencies and reduces methane emissions of less efficient lactating Holstein cows without impairing their performance. *J Dairy Sci* 103:4408–4422. doi:10.3168/JDS.2019-17654.
- van Gastelen, S., J. Dijkstra, and A. Bannink. 2019. Are dietary strategies to mitigate enteric

- methane emission equally effective across dairy cattle, beef cattle, and sheep?. *J Dairy Sci* 102:6109–6130. doi:10.3168/JDS.2018-15785.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Grandl, F., M. Furger, M. Kreuzer, and M. Zehetmeier. 2019. Impact of longevity on greenhouse gas emissions and profitability of individual dairy cows analysed with different system boundaries. *Animal* 13:198–208. doi:10.1017/S175173111800112X.
- de Haas, Y., R.F. Veerkamp, G. de Jong, and M.N. Aldridge. 2021. Selective breeding as a mitigation tool for methane emissions from dairy cattle. *Animal* 15:100294. doi:10.1016/J.ANIMAL.2021.100294.
- Hart, K.J., D.R. Yáñez-Ruiz, S.M. Duval, N.R. McEwan, and C.J. Newbold. 2008. Plant extracts to manipulate rumen fermentation. *Anim Feed Sci Technol* 147:8–35. doi:10.1016/J.ANIFEEDSCI.2007.09.007.
- Hatew, B. 2015. Low Emission Feed Opportunities to mitigate enteric methane production of dairy cows. Wageningen.
- Hegarty RS, Cortez Passeti RA, Dittmer KM, Wang Y, Shelton S, Emmet-Booth J, Wollenberg E, McAllister T, Leahy S, Beauchemin K, Gurwick N. 2021. An evaluation of emerging feed additives to reduce methane emissions from livestock. Edition 1. A report coordinated by Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) and the New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre (NZAGRC) initiative of the Global Research Alliance (GRA).
- IDF (2015) A Common Carbon Footprint Approach for Dairy the IDF Guide to Standard Lifecycle Assessment Methodology for the Dairy Sector. Brussels, Belgium.
- Jia, P., L. Dong, Y. Tu, and Q. Diao. 2023. *Bacillus subtilis* and *Macleaya cordata* extract regulate the rumen microbiota associated with enteric methane emission in dairy cows. *Microbiome* 11:229. doi:10.1186/s40168-023-01654-3.

- Li, Z., X. Lei, X. Chen, Q. Yin, J. Shen, and J. Yao. 2021. Long-term and combined effects of N-[2-(nitrooxy)ethyl]-3-pyridinecarboxamide and fumaric acid on methane production, rumen fermentation, and lactation performance in dairy goats. *J Anim Sci Biotechnol* 12. doi:10.1186/s40104-021-00645-4.
- Montes, F., R. Meinen, C. Dell, A. Rotz, A.N. Hristov, J. Oh, G. Waghorn, P.J. Gerber, B. Henderson, H.P.S. Makkar, and J. Dijkstra. 2013. SPECIAL TOPICS — Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options1. *J Anim Sci* 91:5070–5094. doi:10.2527/jas.2013-6584.
- Morey, L., A. Bach, D. Sabrià, V. Riau, B. Fernández, and M. Terré. 2023. Effectiveness of precision feeding in reducing N excretion in dairy cattle. *Anim Feed Sci Technol* 304:115722. doi:10.1016/J.ANIFEEDSCI.2023.115722.
- Mostert, P.F., E.A.M. Bokkers, I.J.M. de Boer, and C.E. van Middelaar. 2019. Estimating the impact of clinical mastitis in dairy cows on greenhouse gas emissions using a dynamic stochastic simulation model: a case study. *Animal* 13:2913–2921. doi:10.1017/S1751731119001393.
- Mostert, P.F., C.E. van Middelaar, I.J.M. de Boer, and E.A.M. Bokkers. 2018a. The impact of foot lesions in dairy cows on greenhouse gas emissions of milk production. *Agric Syst* 167:206–212. doi:10.1016/J.AGSY.2018.09.006.
- Mostert, P.F., C.E. van Middelaar, E.A.M. Bokkers, and I.J.M. de Boer. 2018b. The impact of subclinical ketosis in dairy cows on greenhouse gas emissions of milk production. *J Clean Prod* 171:773–782. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2017.10.019.
- Overmeyer, V., M. Trimborn, J. Clemens, R. Hölscher, and W. Büscher. 2023. Acidification of slurry to reduce ammonia and methane emissions: Deployment of a retrofittable system in fattening pig barns. *J Environ Manage* 331:117263. doi:10.1016/J.JENVMAN.2023.117263.
- Özkan, Ş., Teillard, F., Lindsay, B., Montgomery, H., Rota, A., Gerber P., Dhingra M. & Mottet, A. 2022. The role of animal health in national climate commitments. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0431en>

- Patra, A.K., and Z. Yu. 2012. Effects of Essential Oils on Methane Production and Fermentation by, and Abundance and Diversity of, Rumen Microbial Populations. *Appl Environ Microbiol* 78:4271–4280. doi:10.1128/AEM.00309-12.
- Petersen, S.O., and P. Ambus. 2006. Methane Oxidation in Pig and Cattle Slurry Storages, and Effects of Surface Crust Moisture and Methane Availability. *Nutr Cycl Agroecosyst* 74:1–11. doi:10.1007/s10705-005-3822-6.
- Petersen, S.O., A.J. Andersen, and J. Eriksen. 2012. Effects of Cattle Slurry Acidification on Ammonia and Methane Evolution during Storage. *J Environ Qual* 41:88–94. doi:10.2134/jeq2011.0184.
- Remling, N., S. Riede, P. Lebzien, U. Meyer, M. Höltershinken, S. Kersten, G. Breves, G. Flachowsky, and S. Dänicke. 2014. Effects of fumaric acid on rumen fermentation, milk composition and metabolic parameters in lactating cows. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 98:968–981. doi:10.1111/jpn.12152.
- Rofiq, M.N., W. Negara, S. Martono, R.A. Gopar, and M. Boga. 2021. Potential effect of some essential oils on rumen methane reduction and digestibility by In Vitro incubation technique. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 905:012138. doi:10.1088/1755-1315/905/1/012138.
- Skuce, P. 2022. Acting on methane: opportunities for the UK cattle and sheep sectors. *Ruminant Health & Welfare*. <https://ruminanthw.org.uk/wp-content/uploads/2022/04/SO-634-Ruminant-Report-Methane-April-2022-web.pdf>
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, and C. Rice. 2007. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agric Ecosyst Environ* 118:6–28. doi:10.1016/j.agee.2006.06.006.
- Sniffen, C.J., C.S. Ballard, M.P. Carter, K.W. Cotanch, H.M. Dann, R.J. Grant, P. Mandebvu, M. Suekawa, and S.A. Martin. 2006. Effects of malic acid on microbial efficiency and metabolism in continuous culture of rumen contents and on performance of mid-lactation dairy cows. *Anim Feed Sci Technol* 127:13–31.

doi:10.1016/J.ANIFEEDSCI.2005.07.006.

Sokolov, V., A. VanderZaag, J. Habtewold, K. Dunfield, C. Wagner-Riddle, J.J.

Venkiteswaran, and R. Gordon. 2019. Greenhouse Gas Mitigation through Dairy Manure Acidification. *J Environ Qual* 48:1435–1443. doi:10.2134/jeq2018.10.0355.

Souza, V.L., N.M. Lopes, O.F. Zacaroni, V.A. Silveira, R.A.N. Pereira, J.A. Freitas, R.

Almeida, G.G.S. Salvati, and M.N. Pereira. 2017. Lactation performance and diet digestibility of dairy cows in response to the supplementation of *Bacillus subtilis* spores. *Livest Sci* 200:35–39. doi:10.1016/J.LIVSCI.2017.03.023.

Warner, D., B. Hatew, S.C. Podesta, G. Klop, S. van Gastelen, H. van Laar, J. Dijkstra, and

A. Bannink. 2016. Effects of nitrogen fertilisation rate and maturity of grass silage on methane emission by lactating dairy cows. *Animal* 10:34–43. doi:10.1017/S1751731115001640.

Yamada, K., K. Iwamae, Y. Suzuki, S. Koike, and Y. Kobayashi. 2023. Batch culture analysis

to identify potent organic acids for suppressing ruminal methane production. *Animal Science Journal* 94. doi:10.1111/asj.13873.

李斌昌.日粮精粗比对不同月龄后备奶牛甲烷排放与生长性能和营养物质消化的影

响.2019.甘肃农业大学,MA thesis.doi:10.27025/d.cnki.ggsnu.2019.000129.

王贝.饲料 NDF/NFC 对不同泌乳阶段奶牛瘤胃甲烷排放量、营养物质表观消化率及生

产性能的影响.2019.塔里木大学,MA thesis.