

沼气发酵微生物菌群的研究现状

蒙杰, 王敦球

(广西桂林工学院资源与环境工程系, 桂林 541004)

摘要：详细分析沼气发酵的基本机理及其主要微生物菌群，论述沼气发酵过程中微生物菌群对产沼气的影响，并指出水解性细菌、纤维素分解菌、白腐菌等对提高沼气产率具有不可忽视的作用，对开发研制新型高效沼气促进剂具有指导意义。

沼气是一种可再生能源，它可以作为农村炊事、照明等生活用能，是农村实现燃气化的一条有效途径。

沼气与养殖、种植相结合进行综合利用，具有明显的经济效益。近年来，以沼气为纽带开展多项功能的综合利用，多梯级、多层次、良性循环利用的生态农业在绿色农业中占有举足轻重的地位。同时，为了更好地

发挥以沼气为纽带的生态农业的作用，促进绿色农业的发展，提高沼气池的产沼气率具有重要意义。

沼气发酵的影响因素有很多，比如发酵温度、pH值、微生物种群以及物料预处理情况等。沼气发酵是沼气微生物在厌氧条件下分解有机物质产生甲烷和二氧化碳的过程。在这一过程中，非产甲烷细菌与产甲烷细菌联合作用，发酵的效率与这两大类群微生物之间能否协调生长直接相关。在厌氧系统中，存在着种类繁多，关系复杂的微生物区系。甲烷的产生是这个微生物区系各种微生物相互平衡、协同作用的结果。因此，研究发酵过程中微生物生理群的变化及其所引起的物质转化对产气效率的影响，对于有效地控制发酵过程，提高产气效率具有重要的意义。

1 沼气发酵的基本机理和微生物群

1.1 沼气发酵的基本机理

沼气发酵是由多种产甲烷细菌和非产甲烷细菌混合共同发酵完成的。沼气发酵的第一阶段由厌氧和兼性厌氧的水解性细菌或发酵性细菌将纤维素、淀粉等水解成单糖，并进一步形成丙酮；将蛋白质水解成氨基酸，并进一步形成有机酸的氨；将脂类水解为甘油和脂肪酸，进一步形成丙酸、乙酸、丁酸、乙醇等。第二阶段由产氢产乙酸细菌群利用第一阶段产生的有机酸，氧化分解成乙酸和分子氢；第三阶段由严格厌氧的产甲烷细菌群(methangens)完成。在这个庞杂的混合发酵体系中，非产甲烷细菌为产甲烷细菌提供生长和产甲烷所需的基质，创造适宜的氧化还原条件，并清除有毒物质；产甲烷细菌为非产甲烷细菌的生化反应解除反馈抑制，创造热力学上的有利条件；并且两类菌共同维持环境中适宜的pH值。产甲烷细菌和非产甲烷细菌间通过互营联合实现甲烷的高效形成。

1.2 发酵过程的主要微生物

整个厌氧消化过程是一个产甲烷细菌和非产甲烷细菌相互作用，相互制约的动态平衡过程。用于厌氧消化的原料几乎都是不溶性有机大分子的碳水化合物、脂肪和蛋白质等，只有通过水解酶把它们分解成较小的分子后才能被产氢产乙酸菌和产甲烷细菌利用，最终产生甲烷。

水解过程通常较缓慢，因此是含高分子有机物或悬浮物废液厌氧降解的限速阶段。影响水解速度与水解程度的因素很多。胞外酶能否有效接触到底物是影响水解速率的关键。因此大颗粒比小颗粒底物降解要缓慢得多。许多微生物可以产生胞外酶，其中主要的水解酶有脂肪酶、蛋白酶和纤维素酶等。它们的作用是将复杂的大分子水解为可被微生物同化的单体。在有机聚合物占多数的废液厌氧生物处理中，水解作用是整个过程的限速步骤。

近10年来的研究发现，产氢产乙酸菌包括互营单胞菌属、互营杆菌属、梭菌属、暗杆菌属等。这类细菌能把各种挥发性脂肪酸降解为乙酸和 H_2 。

。利用乙酸的产甲烷细菌有索氏甲烷丝菌和巴氏甲烷八叠球菌，两者的生长速率差别较大。在一般的厌氧反应器中，约70%的甲烷由乙酸分解而来，30%由氢气还原二氧化碳而来。在厌氧反应器中，甲烷产量的70%是由乙酸歧化菌产生的。在反应中，乙酸中的羧基从乙酸分子中分离，甲基最终转化为甲烷，羧基转化为二氧化碳。

2 非产甲烷细菌与产甲烷细菌之间的相互关系

厌氧发酵过程实际上是由各种微生物所进行的一系列生物化学的偶联反应，而产甲烷细菌则是厌氧生物链上的最后一个成员。厌氧微生物的相互关系包括：非产甲烷细菌与产甲烷细菌的相互关系；非产甲烷细菌之间的相互关系；产甲烷细菌之间的相互关系。以上第一种关系最为重要，在厌氧处理系统中，非产甲烷细菌和产甲烷细菌相互依赖，互为对方创造良好的环境和条件，构成互生关系；同时，双方又互为制约，在厌氧生物处理系统中处于平衡状态。

研究发现，在发酵的整个过程中，大体上可分为发酵启动期、盛产气期和持续产气期三个阶段。启动阶段初期，好氧细菌是引起有机物质转化的主要类群，而利用葡萄糖的好氧产酸菌又是好氧细菌中的优势类群。到产气高峰，产甲烷细菌与厌氧氨化细菌和厌氧产酸细菌的菌数都达到最高值。产气高峰过后，由于易分解性基质的消耗，厌氧氨化细菌和厌氧产酸细菌开始下降，而产甲烷细菌基本上维持最高菌数。

由此可以说明，高峰迅速下降的原因与厌氧氨化细菌和厌氧产酸细菌的迅速下降有关。看来三者维持在高菌数时，产气效率最高。而三者中任何一生理群菌数过高或过低，即三者相对比例失调，则产气效率降低。所以厌氧产酸下降、厌氧氨化下降、产甲烷细菌的迅速增殖以及三大生理群细菌的协调生长，是维持盛产气期的重要条件。在持续产气期，产气纤维分解细菌是这一时期菌数继续上升的唯一微生物生理群。

这一时期产生甲烷的前体物质主要来自纤维素的分解。

3几种重要微生物类群对产沼气的影响

3.1水解细菌

在一个能够正常进行发酵的沼气池中，非产甲烷细菌对有机物分解利用的速度决定了产甲烷细菌产甲烷的速度。为了进一步提高沼气产量，重要的不是产甲烷细菌的继续富集，而是提高非产甲烷细菌对有机物的水解速度，尤其是对纤维素的分解速度。因此，为沼气池提供水解微生物的优势菌群，改善非产甲烷细菌的代谢功能，是提高有机物分解利用率和沼气产量的一项重要措施。

为了提高沼气池发酵原料的分解利用率和产气量，国内外都十分注重在沼气池内保持较多的产甲烷细菌群(厌氧污泥)。除了应采取上述措施外，为沼气池提供水解细菌的优势菌群，改善非产甲烷细菌的代谢功能，使有机物得到更彻底的分解，是提高沼气池产气量的重要途径。对于处理固形物含量较高的、含较多较难分解的有机物的沼气发酵原料，采取这一措施显得尤为重要。

研究发现，在猪粪和鸡粪的厌氧消化过程中，各种水解酶(蛋白酶、纤维素酶、脂肪酶和淀粉酶等)的酶活与沼气产量成正比关系，水解酶活均出现在产气峰值的附近，并且水解酶活与沼气产量的变化曲线相似，这一结果在国内外尚未见报道。另有研究表明，适量添加水解酶能加快发酵原料中纤维素的降解速度，明显提高沼气产量。

3.2秸秆预处理有效菌

天然状态下的秸秆由纤维素、半纤维素、木质素及部分蛋白质、氨基酸、单宁等组成。由于天然木质纤维素结构的复杂性，进行生物转化的难点在于如何高效将它降解成为可发酵糖。结合预处理方法消除

木质素的阻碍作用，是提高纤维素被纤维素酶水解的有效步骤。将纤维素酶的产生、纤维素的水解及酒精发酵过程有效组合，可提高生物转化效率降低转化成本。大家知道，麦秸、稻草、玉米秆等植物性原

料表皮上都有一层蜡质，如果不作处理就下池，水分不易通过蜡质层进入秸秆内部，纤维素很难腐烂分解，不能被甲烷细菌利用，而且会造成浮料或结壳现象。目前对农作物秸秆的利用还未达到令人满意的水平，其主要原因是缺乏对农作物秸秆这种天然纤维素完全降解的高活性菌株。为了加快原料的发酵分解，提高产气量，必须对作物秸秆等原料做好预处理。对纤维素、木质素降解能力较强的有白腐菌和纤维素分解菌。木质素的生物降解就是利用微生物所产生的胞外酶(主要是木质素氧化酶系，对木质素有较强的催化氧化作用)作用于木质素并使其逐步分解转化的过程。

由于微生物的木质纤维素降解能力较弱，导致农作物秸秆的水解过程缓慢，水解程度低，使农作物秸秆的厌氧消化时间长、消化率低、产气量少、投入产出效益差，因而限制了秸秆大规模地应用于厌氧发酵。

因此，研究如何通过预处理使作物秸秆中的木质纤维素得到有效降解成为秸秆生物处理的一个关键。

3.2.1纤维素分解菌

纤维素的分解是厌氧消化的重要一步，对消化速度起着制约的作用。而纤维素分解菌是参与纤维素分解的主要细菌。

自然状态下，纤维素的彻底降解是在微生物体系中多种微生物长时间相互作用的结果，这一过程仅靠一种微生物是无法实现的。这是由于分解纤维素的酶是由多种组分组成的酶体系。因此，在进行纤维素大分子降解的研究过程中要考虑到微生物的产酶体系之间的协同效应。多菌株混合培养，产酶具有多样性，弥补了单个菌株产酶单一的缺点，对稻草秸秆的利用更完全。混合菌将可以大大促进纤维素类物质的分解。

3.2.2 白腐菌 对来自于植物中的物料，其生物降解性取决于纤维素和半纤维素被木质素包裹的程度。

木质素是由苯丙烷结构单体组成的具有三维网状结构的天然高分子化合物，在细胞壁中起加固作用，把纤维素和半纤维素粘结起来。木质素不能水解为单糖。木质素的存在阻碍了纤维素和半纤维素对酶的可及性，并且，木质素不可逆地结合水解酶，使得水解速度降低。木质生物资源的结构(纤维素结晶度、聚合度及表面积)和化学组成(半纤维素及木质素含量)影响纤维素底物对纤维素酶的敏感度，对酶水解造成障碍，致使天然形态的木质生物资源的酶解率小于20%。因此，必须对原料进行预处理，将纤维素、半纤维素和木质素进行分离，打破纤维素的结晶结构，提高纤维素对酶的可及性，使纤维素酶渗透进纤维素，从而有效地酶解纤维素。

白腐菌是降解木质素能力最强的微生物。利用白腐菌处理秸秆主要是由于其在生长活动过程中能分泌多种酶，这些降解酶主要是木质素降解酶，其次是纤维素降解酶及半纤维素降解酶，以降解细胞壁物质中的木质素、纤维素及半纤维素。由于不同的生理要求，不同白腐菌对木质素的降解具有选择性。孟庆翔等研究也发现，同一白腐真菌对不同底物(小麦秸、稻草秸和玉米秸)木质素、半纤维素降解也明显不同。所以，预处理时应根据不同的堆肥物料选择合适的菌种。

研究结果表明，利用白腐菌对玉米秸秆进行生物降解预处理，在固液比例为1：9，添加0.1%碳源和0.2%氮源的情况下，能大幅度提高木质纤维素的降解率，并获得COD值在10000mg/L以上的降解液。

4结论

厌氧生物降解过程是一个极其复杂的过程，各种微生物活动不仅相互作用、相互依赖，又互为制约，影响着厌氧的主要最终产物甲烷的产量。充分认识微生物在沼气发酵中的作用和影响，对研制新型高效沼气促进剂具有指导意义。除此以外，影响产沼气的因素还有：温度、pH值、氧化还原电位、基质的营养比例、基质微生物比(COD/VSS)、毒性物质和微量元素等。

沼气是伴随着有机物在厌氧的条件下通过微生物的代谢活动被稳定化而产生的，有机物厌氧发酵的每一个阶段均有独特的微生物类群在起作用。因此，可以通过添加某种菌群或混合菌，不断的对发酵过程中的大量细菌、原生动物及真菌进行调控，改善和促进各个阶段的独特微生物类群的活性，使其在较短时间内大量繁殖，加快有机物稳定化的进度，最终以达到缩短发酵时间，增加厌氧发酵产气率的目的，从理论上来说是可行的。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/101764.html>