

مدخلات ومخرجات
الهاضم الحيوي
والعوامل المؤثرة على
عملية التخمر اللاهوائي

October 24

2009

إعداد : منال عريشة / نسرين الصوا .

www.kawngroup.com

مدخلات ومخرجات الهاضم الحيوي والعوامل المؤثرة على عملية التخمير اللاهوائي

مقدمة

يطلق مصطلح الكتلة الحيوية على النفايات العضوية وهي مخلفات الانسان والحيوان والنبات . وقد تكون صلبة كالقمامة ومخلفات الحيوانات ومخلفات الاشجار، كما قد تكون سائلة كمياه المجاري ومخلفات بعض الصناعات . ويعتبر استغلال الكتلة الحيوية ضرورة حتمية وذلك لكونها ملوثة للبيئة ويجب التخلص منها حفاظاً على الصحة العامة ، حيث يمكن تحويلها الى طاقة او تدوير بعض منها لاستخدامها مرة اخرى.

ان الاستفادة من مخلفات الحيوانات ليست بالأمر الجديد فلقد استعمل الانسان وما زال مخلفات الحيوانات كأسمدة للتربة في الوقت الذي لم يكن باستطاعته صناعة الأسمدة الكيماوية وإضافة إلى ذلك استعمل مخلفات الحيوانات أيضاً لإنتاج الطاقة وذلك بحرقها مباشرة.

والان حيث يعيش العالم وهاجس استنزاف مصادر الطاقة الاحفورية مع ارتفاع اسعارها عما كانت عليه فقد عاد الاهتمام مرة اخرى بمخلفات الحيوانات باعتبارها مصدر طاقة.

حيث ان هذه المخلفات ستصبح مصدر توفير حينما يتم استخدامها لإنتاج غاز الميثان.

من ضمن العناصر التي تحويها مخلفات الحيوانات والمخلفات العضوية بشكل عام هناك الكربون والهيدروجين والنتروجين حيث الكربون والهيدروجين هما من المكونات الاساسية والرئيسية في معظم انواع الوقود المتعارف عليها

اما النتروجين فهو ما تحتاجه النباتات وعلى هذا فان المخلفات العضوية تصلح كمصدر للطاقة وكسماد للنباتات في ذات الوقت.

ان استعمال المخلفات العضوية كسماد فقط يعني هدر الطاقة المتوفرة فيها والتي يمكن الحصول عليها بسهولة .

يتم انتاج غاز الميثان من مخلفات الحيوانات بواسطة طريقة تدعى الهضم اللاهوائي.

تعريف عملية التخمير اللاهوائي :

هي عملية تحلل المواد العضوية الرطبة من مصادر نباتية أو حيوانية بفعل الأحياء الدقيقة (ميكروبات) في غياب الأكسجين .

ينتج عن هذه العملية خليط غازي يسمى البيوغاز أهم مكوناته غازي الميثان (CH₄) وثنائي أكسيد الكربون (CO₂) وتتراوح نسبة وجودهما في الخليط بين

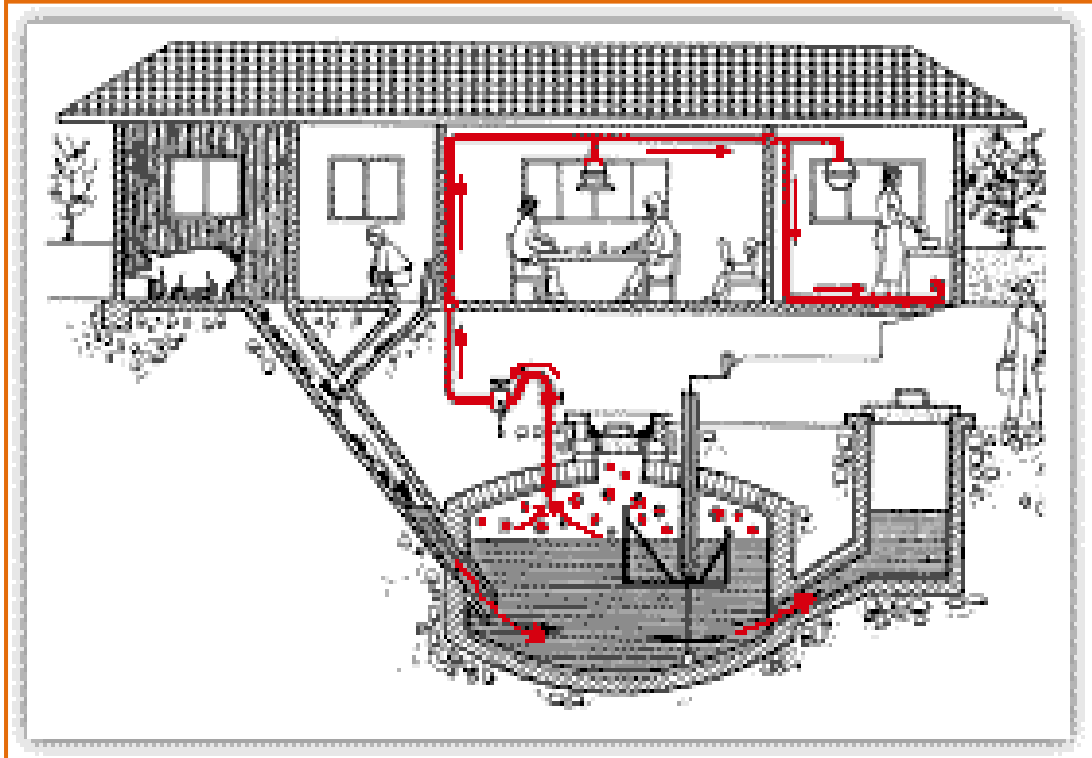
البيوغاز وهي تحتوي على جميع العناصر الغذائية للمادة العضوية المخمرة. 50-75% بالتوالي ، بالإضافة إلى مخلفات مستقرة نسبياً تعرف بسماد

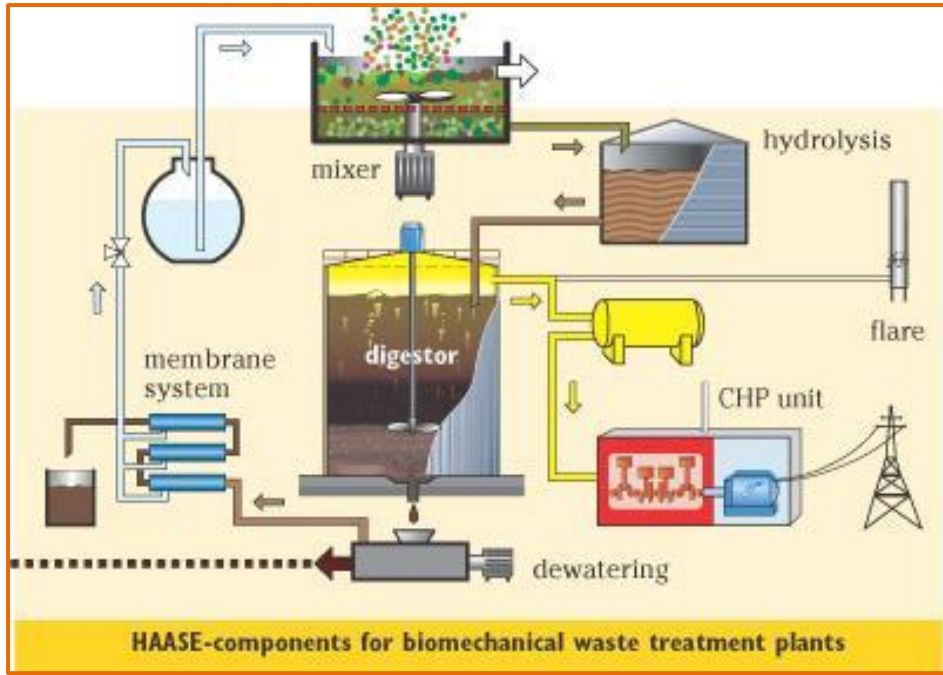
الأبحاث العديدة التي تناولت النواحي الكيميائية والبيولوجية لعملية التخمر اللاهوائي وكذلك الدراسات الاقتصادية والإجتماعية المختلفة حولت النظر لهذه العملية من مجرد تقنية لإنتاج البيوغاز إلى نظام متعدد الأغراض والأهداف ويمكن استغلاله في :

- معالجة المخلفات العضوية ومياه الصرف الصحي بدرجات تركيز مختلفة.
- إنتاج الطاقة.
- إصحاح البيئة.
- إنتاج سماد عالي الجودة.

مكونات وحدة انتاج الغاز الحيوي:

- ✓ المخمر (الهاضم)
- ✓ خزان (حاوية) الغاز الحيوي الناتج
- ✓ حجرة خلط مواد التغذية
- ✓ غرفة الخروج ومنطقة تخزين وتجفيف المستحلب المتخمر
- ✓ شبكة توصيل الغاز ومعدات استخدامه
- ✓ بالإضافة الى الحظيرة ودورة المياه





آلية العمل ضمن الهاضم :

توضع المخلفات العضوية في وعاء يدعى الهاضم ولا يسمح للاكسجين بالدخول الى حيث توجد المخلفات فتقوم البكتيريا بتحليل المخلفات في جو خال من الاكسجين ينتج عن هذه العملية خليط قابل للاحتراق مكون من غازات الميثان وثاني أكسيد الكربون (يدعى الغاز الحيوي). وينتج أيضا سماد طبيعي معالج على شكل سائل. يجمع الغاز الناتج في خزانات حيث يبلغ حجم الغاز الناتج مايعادل 1.5-2.5 من حجم الهاضم نفسه

فلو افترضنا ان حجم الهاضم يبلغ الف لتر فان حجم الغاز الناتج يبلغ حوالي 1500 الى 2500 لتر من الغاز

وتختلف نسبة الميثان في الغاز الناتج اعتمادا على نوع المخلفات المستعملة غير ان النسبة بشكل عام تتراوح ما بين 60-70 %

وتحتوي المخلفات التي تبقى بعد انتاج الغاز على النتروجين وهو الذي تحتاجه النباتات، لذلك فان مخلفات عملية الهضم اللاهوائي تستعمل اسمدة للنباتات في المزارع

وبهذا الشكل يمكن الاستفادة من المخلفات باعتبارها مصدر طاقة ومصدر اسمدة في ذات الوقت.

تعتبر الابقار من افضل الحيوانات في مجال انتاج الغاز من المخلفات

جدول يوضح الإنتاج بالليترات من مخلفات الحيوان ليوم واحد

الحيوان	حجم الغاز المنتج	نسبة الميثان في الغاز	القيمة الحرارية في ليتر من الغاز/كيلوجول
بقرة حلوب	1200	%59	22
خنزير	140	%68	25
دجاجة	9	%68	25

ومن ضمن الكثير من أشكال وأنواع الهاضم الحيوي، فقط نوعان منها انتشر استخدامه في العالم لنجاحها في الاختبارات التي وقعت عليها وهي:

- الهاضم ذو قبة الغاز الطافية (المتحركة)، النوع الهندي.
- الهاضم ذو قبة الغاز الثابتة، النوع الصيني.

الفرق الرئيسي بين النوعين هو أن في الأول يخزن الغاز تحت قبة متحركة وتحت ضغط ثابت نسبيا لتغير حجم القبة (خزان الغاز) ولهذا يعتبر آمن الاستعمال. أما الثاني فيخزن الغاز تحت قبة ثابتة ذات حجم ثابت مما يؤدي إلى زيادة الضغط بشكل متزايد وتخزين كمية أكبر من الغاز في النوع الصيني تحتاج إلى حذر أكثر من النوع الهندي ولكن النوع الصيني يعتبر أقل تكلفة.

المرتكزات العملية لعملية التخمير اللاهوائي:

فيما يلي نستعرض المرتكزات العملية أو العوامل المؤثرة على عملية التخمير اللاهوائي :

1- البكتيريا :

تم تصنيف البكتيريا إلى أربع أنواع حسب نوع المادة الخام المستخدمة بواسطتها كغذاء وتلك المنتجة بنهاية عملية التغذية.

- بكتيريا التحلل والتخمير:

تحول المركبات العضوية (كالكربوهيدرات والبروتينات والدهون) إلى سكريات ونشويات و أحماض أمينية وأحماض دهنية عليا ومركبات متعادلة ومركبات أبسط كحامض الخليك ومركبات أحادية الكربون زائد الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون.

- بكتيريا منتجة للهيدروجين والخلات :

تحولمنتجات المجموعة السابقة من البكتيريا كالأحماض الدهنية الأعلى من الخلايا كالبروبيوتيك والبيوتريك والمركبات المتعادلة كالإيتانول والبروبانول إلى هيدروجين وخلات.

- بكتيريا منتجة خلات :

هذا النوع يعمل على نطاق واسع من المركبات العضوية أحادية أو متعددة ذرات الكربون ويحولها إلى حامض خليك.

- بكتيريا منتجة الميثان :

تستخدم الهيدروجين ، ثاني أكسيد الكربون ، الخلات ، الميثانول ، أول أكسيد الكربون لإنتاج غاز الميثان.

2- الوسط الغذائي :

أي المواد العضوية اللازمة لإنتاج البيوغاز وخصوصاً العناصر الضرورية لتغذية الأنواع المختلفة من البكتيريا المساهمة في عملية إنتاج البيوغاز هذه العناصر يمكن تصنيفها في مجموعتين أساسية وثانوية :

العناصر الأساسية تشمل الكربون والنيتروجين والفوسفور والكبريت و**الثانوية** تشمل الكالسيوم والماغنيزيوم والزنك والحديد .

ولاستقرار عملية التخمر اللاهوائي يجب أن يكون هناك اتزان في مقادير ونسب هذه العناصر مع بعضها البعض ، والنسبة بين عنصري الكربون و النيتروجين تؤثر تأثيراً مباشراً على نشاط البكتيريا وخاصة المنتجة للميثان ، فالكربون هو العنصر الأساسي لتزويد البكتيريا بالطاقة الضرورية للنمو أما النيتروجين فهو ضروري لإنتاج الأحماض الأمينية .

حيث أثبتت نتائج الأبحاث أن نسبة كربون/ نيتروجين (C/N) تعادل 25-30 :1 هي الأفضل.

3- درجة الحرارة :

إن البكتيريا المنتجة للميثان هي أكثر أنواع البكتيريا تأثراً بتذبذب درجة الحرارة لذلك صنفنا بكتيريا الميثان إلى ثلاث مجموعات وذلك حسب تكيفها مع درجات الحرارة.

- بكتيريا محبة للبرودة :

تعمل في درجات حرارة منخفضة تتراوح بين 10-25 درجة مئوية. إنتاج البيوغاز في مثل هذه الظروف من الحرارة ليس شائعاً.

- بكتيريا محبة لدرجات الحرارة المتوسطة :

أنسب درجة حرارة تعمل بها هي 35-37 درجة مئوية وتتحمل التذبذب في حدود +2 درجة

- بكتيريا محبة لدرجات الحرارة العالية :

تعمل على درجات حرارة مرتفعة نسبياً 55-60 درجة مئوية وهي شديدة الحساسية لتذبذبات درجة الحرارة وقد تتوقف عن العمل إذا زادت في حدود +0.5 درجة مئوية.

4- درجة الحموضة :

إن عملية التخمير اللاهوائي يمكن أن تقسم إلى مرحلتين مرحلة إنتاج أحماض ومرحلة تحويل أحماض ، إن ارتفاع الحموضة في المرحلة الأولى شيء طبيعي والبكتيريا العاملة في هذه المرحلة متألّمة (بكتيريا التحلل والتخمير وبكتيريا منتجة للخلات) ، أما البكتيريا الفاعلة في المرحلة الثانية (مرحلة تحويل الأحماض) وهي بكتيريا الميثان تنمو وتعمل بكفاءة في وسط متعادل تقريباً ، درجة الحموضة (6)-

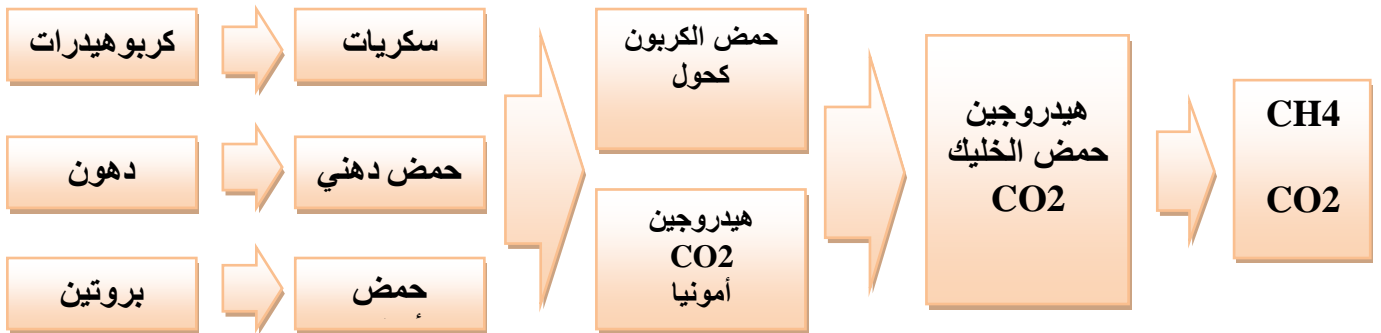
PH (8)

إن الحموضة الزائدة في مخمرات البيوغاز هي المشكلة الأكثر شيوعاً ويمكن معالجتها باتباع إحدى هاتين الوسيلتين :

- ١ - وقف عملية التغذية للمخمر بالمواد العضوية مؤقتاً حتى تجد بكتيريا الميثان الوقت الكافي لخفض كمية الأحماض الدهنية بالوسط الغذائي.
- وقف التغذية أيضاً يقلل من نشاط بكتيريا التحلل والتخمير و البكتيريا المنتجة للخلات وبالتالي يؤدي لخفض معدل إنتاج الأحماض.
- ٢ - إضافة مواد كيميائية قلوية لمعادلة الحموضة الزائدة مثل هيدروكسيد الكالسيوم وكربونات الصوديوم .

5- تسمم الوسط الغذائي :

عملية التخمير اللاهوائي تتأثر سلباً و بدرجات متفاوتة بنسب وجود بعض المعادن الثقيلة أو حتى بزيادة في تركيز العناصر الغذائية الضرورية لنمو البكتيريا كالكالسيوم ، المغنيزيوم ، الصوديوم ، البوتاسيوم ، الحديد ، الأمونيوم والكبريت . تكون أعراض التسمم في درجاته الدنيا عبارة عن بطيء أو نقص في معدل إنتاج الغاز وفي الحالات الحادة تتوقف تماماً العملية الحيوية الكيميائية نتيجة لتسمم وموت البكتيريا بالرغم من أن كل أنواع البكتيريا المساهمة في عملية التخمير اللاهوائي تتأثر بهذه السموم إلا أن تلك المنتجة للميثان أشدها حساسية وتأثراً .



إنتاج الميثان تحمض درجة

المراحل الأساسية لعملية الهضم اللاهوائي

أساسيات التطبيق العملي :

❖ المواد العضوية الخام (المدخلات) :



المخلفات الحيوانية المختلفة من روث أبقار وأغنام ودواجن، ومخلفات الإنسان كالصرف الصحي وحمأة المجاري، والمخلفات النباتية مثل الثمار التالفة و الأعشاب وغيرها، وعديد من مخلفات الصناعات الغذائية مثل مخلفات صناعة الألبان والأغذية والمشروبات، إضافة إلى المخلفات المنزلية كالقمامة، مخلفات المطابخ، بقايا الأطعمة، وبقايا تجهيز الخضرو الفواكه، يمكن استخدامها كمواد خام لإنتاج البيوغاز.

في أدبيات تقنية الغاز الحيوي كثيراً ما يرد لفظ قابلية التحلل في وصف المواد العضوية المستخدمة وذلك لأن هذه المواد العضوية تتفاوت فيما بينها في نسب مكوناتها الأولية من كاربوهدرات وبروتين ودهون وغيرها وهذه تتفاوت في قابلية التحلل بفعل الأنزيمات البكتيرية فهي تتراوح بين السكريات أكثر المواد تحللاً إلى اللجنين (المادة الخشبية) التي لا تتحلل بفعل البكتيريا، تبعاً لذلك فإن هذه المواد تتفاوت في مقدار ما تنتجه من بيوغاز.

بما أن نسبة الكربون إلى النتروجين من المؤشرات الهامة لمعرفة إمكانية إنتاج البيوغاز من مخلف ما فإن هذه المخلفات تتفاوت أيضاً في ذلك فبينما تكون هذه النسبة في روث الماشية في المدى الأفضل 25-30 : 1، تكون هذه النسبة متطرفة في مخلفات الإنسان من ناحية والمخلفات النباتية من ناحية أخرى، حيث تكون في الأولى 3-15 : 1

وفي الثانية 60-90 : 1

على كل حال بخلط المخلفات الغنية بالنتروجين بتلك الغنية بالكربون يمكن الحصول على خليط متوازن.



❖ معدل التغذية :

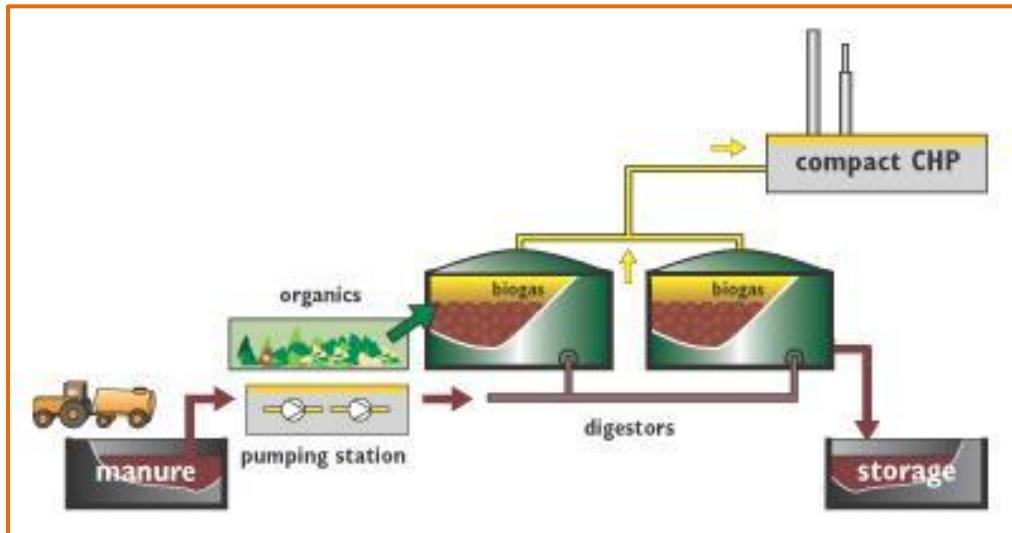
هو درجة تركيز المادة العضوية الجافة في محلول التخمر وتميز مئوية (%) ، حيث تكون المادة المغذية للمهاضم عبارة عن مادة رطبة مؤلفة من 90% ماء و 10% مادة عضوية صلبة.

معدل التغذية يعتمد على نوع وطبيعة المواد العضوية المستخدمة ومدى قابليتها للتحلل، وعلى درجة الحرارة ، زمن الاحتباس ، حجم المخمر ، وكمية الغاز المراد إنتاجه.

معدل إنتاج الغاز يزداد بزيادة معدل التغذية وذلك حسب نوع المادة العضوية المستخدمة. ولكن كفاءة تحويل المادة العضوية تقل إذا زاد معدل التغذية عن حد معين وعليه لتحديد معدل التغذية الأفضل يجب مراعاة كلا المؤشرين إنتاجية كفاءة الغاز وكفاءة التحويل.

❖ زمن الاحتباس :

هو الزمن الذي تقضيه المادة العضوية داخل المخمر محسوباً بالأيام في حالة معالجة المخلفات الصلبة كالحيوانية والنباتية ، وبالساعات في حالة معالجة المخلفات السائلة قليلة التركيز كمياء الصرف الصحي وبعض المخلفات الصناعية. زمن الاحتباس للعديد من المخلفات الحيوانية الشائعة الاستخدام تتراوح بين 30-45 يوم.



مخرجات الهواضم الحيوية:

أولاً: السماد الحيوي:

يطلق علي المخلوط المتبقي من عملية تخمر المخلفات العضوية والخارج من المخمر اسم سماد البيوغاز أو السماد الحيوي ويتميز هذا المحلول بأنه سماد عضوي عالي الجودة بدون روائح لا يجذب الحشرات والذباب والبعوض ويخلو من الميكروبات والطفيليات المرضية مما يجعل تداوله أكثر أمناً من الناحية الصحية عن التعامل مع المخلفات العضوية الأصلية قبل عملية التخمر . كذلك تشير تحاليل سماد البيوغاز إلي احتوائه علي بعض الفيتامينات ولا سيما فيتامين ب 12 حيث إن نمو البكتيريا بالمخمر يتطلب تواجد هذا الفيتامين ، كما يحتوي السماد على منظمات النمو و الهرمونات النباتية الطبيعية

ويمكن ذكر بعض القيم التقريبية لمكوناته :

"كل واحد متر مكعب من السماد الحيوي أي طن واحد تقريباً بتركيز ذو (8% مائه صلبة) تعادل (11،4 كغ) كبريت + (1،1 كغ) سوبر فوسفات + (11،5 كغ) كبريتات البوتاسيوم".

التسميد بالمادة العضوية المهضومة (السماد الطبيعي)

- الهضم اللاهوائي يستهلك الكربون، الهيدروجين والأوكسجين من المخلفات العضوية الطازجة وتبقى العناصر الغذائية المهمة للنبات مثل النيتروجين والفسفور والبوتاس.
- من ناحية عملية حجم المادة المهضومة الخارجة كسماد يساوي حجم المواد المغذية للمهاضم حيث يشكل الغاز الناتج 5-10% من الحجم الكلي فقط.
- عملية الهضم تقلل من نسبة الكربون إلى النيتروجين والذي يزيد من الأثر الإيجابي للسماد الناتج.
- السماد العضوي الناتج جيد و عديم الرائحة ولا يجذب الذباب والحشرات.
- الهضم اللاهوائي يقضي على الجراثيم مسببات الأمراض والديدان الضارة، ويميت بذور الحشائش والنباتات المتواجدة في المادة العضوية المغذية للمهاضم.
- (السماد الطبيعي) له تركيبة متجانسة ومتوازنة يسهل استهلاكه على النباتات.

ثانياً: الغاز الحيوي:

هو غاز عديم اللون والرائحة ذو محتوى حراري عالي يقدر ب 1000 وحدة حرارية بريطانية لكل قدم مكعب أو (252 كيلو كالوري/0.028 م³) يتكون الغاز الحيوي من غاز الميثان بنسبة (50%-70%) وغاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة (30%-40%) وبعض الغازات الأخرى بنسبمتدنية مثل الهيدروجين ، أول أكسيد الكربون ، النتروجين ، الأكسجين وكبريتيد الهيدروجين . حيث تعتمد تراكيز هذه الغازات على نوعية المادة العضوية المغذية للهاضم الحيوي.

إن استغلال الغاز الحيوي المتكون نتيجة عمليات التخمر اللاهوائي ذو فوائد وميزات كثيرة منها:

تقليل انبعاث الغازات الدفينة:

حيث تعتبر مكبات النفايات أكبر مصدر لانبعاث غاز الميثان إلى الغلاف الغازي ويعتبر الميثان العامل الأساسي في التغير المناخي (وذو تأثير مضاعف يبلغ أكبر ب 21 مرة من تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون) . وإن أي مشروع لاستخراج الغاز الحيوي من المكبات يمكن أن يستخرج ما قيمته 85% من الغاز المتولد داخل المكب. إن مكباً صغيراً ذا قدرة على توليد 5 ميجاوات يعادل بيئياً تشجير ما قيمته 800.000 شجرة بالسنة أو إزالة تأثير الغازات العادمة المنبعثة من 60.000 سيارة.

استغلال الغاز الحيوي يقلل من استخدام المصادر غير المتجددة في توليد الطاقة:

إن توليد الكهرباء من المكبات يخفف من انبعاث الغازات الدفينة الناتجة عن استخدام مصادر طاقة غير متجددة مثل المشتقات البترولية لتوليد نفس كمية الكهرباء الناتجة عن استغلال المكبات . ويقلل من انبعاث الغازات المصاحبة لحرق المصادر غير المتجددة مثل ثاني أكسيد الكربون والأكاسيد الكبريتية وأكاسيد النتروجين والدقائق المعلقة.

فوائد محلية:

إن استغلال الغاز الحيوي من المكبات يساعد على القضاء على الروائح الكريهة الناتجة عن ملايين أطنان النفايات الملقاة في المكبات والقضاء على خطورة الحرائق والانفجارات التي يمكن حدوثها داخل المكب نتيجة تراكم غاز الميثان . كما أن هذه المشاريع تساعد على خلق فرص عمل جديدة للمجتمع المحلي.

الغاز الحيوي مصدر للطاقة يمكن الاعتماد عليه:

تعتبر تكنولوجيا البيوجاز من التكنولوجيات الاقتصادية؛ حيث يولد المتر المكعب الواحد من غاز البيوجاز 1.25 كيلو وات/ ساعة، وهي طاقة كافية لتشغيل موتور قوته حصان واحد لمدة ساعتين،

تخفيض كلفة إنتاج الطاقة المتجددة:

من بين مصادر الطاقة المتجددة يعتبر الغاز الحيوي منافساً بالكلفة. حيث إن تكلفة إنتاج الكهرباء من الغاز الحيوي تتراوح بين 3-5 سنت /كيلو واط الساعي وهي تكلفة تنافس مصادر الطاقة المتجددة الأخرى والمصادر غير المتجددة ، ويوفر دخل للمشروع بحيث يكون ذا جدوى اقتصادية.

استعمالات متعددة أخرى:

- يمكن استخدامه كطاقة حرارية بديلة يستخدم في تسخين المياه والتدفئة وتوليد الطاقة الكهربائية ونذكر أن الغاز الحيوي:
- هو طاقة تنتج عن تقانة بسيطة؛ متوفرة؛ ميسرة في أماكن بعيدة عن مصادر الطاقة؛ وهي لا تحتاج لاستثمارات عالية التمويل المالي أو التقني، لا تطلق ملوثات بيئية وإنما يمكن أن تكون وسيلة للتحكم بالملوثات البيئية.
- يعطي الغاز الحيوي طاقة حرارية عالية؛ نظيفة؛ رخيصة. كل واحد متر مكعب من الغاز الحيوي يعادل من حيث الطاقة (8كغ) حطب = (44%كغ) بوتان = (0,6 ل) مازوت = (1,5 ك و / سا / ميكانيكي).
- الطاقة الناتجة غير ناضبة، ميسرة في معظم أماكن النشاطات الإنسانية؛
- الطاقة الناتجة من الغاز المنتج كافية لمتطلبات المنزل؛ المزرعة والتجمعات الإنسانية؛
- يمكن توليد طاقة كهربائية كافية لاستهلاك المزرعة ولتجمعات سكانية بعيدة.

تحديد كمية الغاز الحيوي

إن أهم عامل لتحديد كمية الغاز الحيوي هو محتوى الكربون في المادة العضوية حيث عندما تتحطم فإن بعض الكربون يصبح جزءاً داخل في تركيب الميكروبات والجزء الباقي من الكربون يكون غاز الميثان وثاني أكسيد الكربون. لحساب كمية الغاز الحيوي ونسبة غاز الميثان فيه فإننا نتبع الأسلوب التالي:

- 1- إن كمية الكربون يعبر عنها بنسبة من كمية النفايات العضوية الطازجة وهذه النسب ملخصة في الجدول التالي:

المادة	كمية الكربون %
الورق والكرتون	40%
المنسوجات	40%
الخشب	30%
مخلفات الأعشاب والحدايق	17%
مخلفات الأغذية	15%

وإذا أخذ بعين الاعتبار إن يتم فصل المنسوجات والورق والكرتون عن بقية النفايات فإنه يتبقى مخلفات الأغذية والمخلفات الخضراء .
وللتوضيح إذا كان لدينا ١ كغم من النفايات العضوية بحيث تحتوي على ٥٠ % مخلفات أغذية و ٥٠ % مخلفات أعشاب وحدايق فهذا يعني:
١ كغم نفايات عضوية = ٥,٥ كغم مخلفات أغذية + ٥,٥ كغم مخلفات خضراء
= ٥٠% (٥,١٥) + ٥٠% (٥,١٧) = ٥,١٦ كغم كربون/كغم نفايات عضوية.
إن كمية الكربون المسؤولة عن توليد غاز الميثان تعطى بالمعادلة الاصطلاحية التالية:

$$Coe/Co = 0.014 T + 0.28$$

T = درجة الحرارة ، درجة مئوية

Coe = كمية الكربون المتوفر لتوليد غاز الميثان.

Co = كمية الكربون الكلي في النفايات .

في المثال السابق كمية الكربون الكلية لكل كغم نفايات عضوية طازجة هو ٥,١٦ كغم كربون في درجة حرارة ٣٦ م ولاحتمساب كمية الكربون المتوفر لتوليد الغاز الميثان نطبق في المعادلة أعلاه:

$$Coe/Co = 0.014(36) + 0.28 = 0.784$$

أي إن ٧٨,٤ % من الكربون الكلي متوفر لإنتاج الميثان وفي هذه الحالة

$$Co = 0.16$$

$$\text{Coe} = 0.12544 \text{ kg}$$

هذا يعني توفر 0.125 كغم كربون لتوليد غاز الميثان

ولحسابات مبدئية نفترض أن كل الكربون المتوفر سيتحول إلى ميثان وبأخذ النظر بأن الوزن الجزيئي للميثان هو 16

$$\begin{aligned} \text{كمية الميثان} &= 0.125 \times (12/16) \\ &= 0.09375 \text{ كغم ميثان/كغم نفايات} \end{aligned}$$

٢ - حساب محتوى الطاقة في الميثان.

المحتوى الحراري لغاز الميثان = 33,810 كيلو جول/م 3

المحتوى الحراري لغاز الميثان = 50,312 كيلو جول/كغم

علمًا بأن كثافة الميثان = 0.672 كغم/م 3

المحتوى الحراري لكل كغم نفايات صلبة = كثافة الميثان x المحتوى الحراري للميثان

$$0.09375 \text{ كغم ميثان/كغم نفايات} \times 50,312 \text{ كيلو جول/كغم ميثان} = 8.553 \text{ كيلو جول}$$

$$1 \text{ Kwh} = 3600 \text{ كيلو جول}$$

$$2,38 \text{ كيلوات ساعة} = 3600 / 8553$$

3- إذا كان سعر بيع الطاقة الكهربائية 7 سنت/ك.و. ساعة فان سعر الطاقة المولدة من 1 كغم نفايات تعادل 16,7 سنت.

4 - التوفير بالغازات الدفيئة = 21 X 0.09375

$$= 3,5 \text{ كغم CO}$$

صعوبات تكنولوجيا الغاز الحيوي :

إن من بين الصعوبات الفنية التي يفرضها غاز الميثان هناك مسألة الخزن ، إذ أن خزن الميثان مسألة تختلف عن خزن الغازات العضوية الأخرى كالبروبين والبيوتين ، فمن أجل تخفيض حجم الميثان بصورة ملموسة يجب ضغطه إلى ما يعادل 200 ضغط جوي وإذا ما أريد الاحتفاظ به بشكل سائل فلا بد من تبريده واللجوء إلى واحدة من الطرق السابقة لخزن الميثان يعني استعمال الضاغطات أو أجهزة التبريد التي تحتاج إلى طاقة كي تعمل وهذا يؤدي بالطبع إلى تقليل الفائدة الكلية من إنتاج الميثان. كما أن اللجوء إلى خزن الغاز دون ضغط أو تبريد يعني ضرورة بناء خزانات كبيرة الحجم وهذا يستدعي استثمارات أولية عالية لذلك من الضروري استهلاك أكبر كمية من غاز الميثان الناتج حال خروجها من الهاضم مع الاحتفاظ بخزان مناسب لتلبية أية زيادة طارئة في الطلب على الطاقة.

مراحل التخمر اللاهوائي الثلاثة في الهاضم
Three-stage anaerobic fermentation in the Digester

