Industrial Microbiology

مكروبيولوجيا صناعية

المعمل السادس

By: Aljawharah Alabbad

2025

جامعة الملك سعود
King Saud University

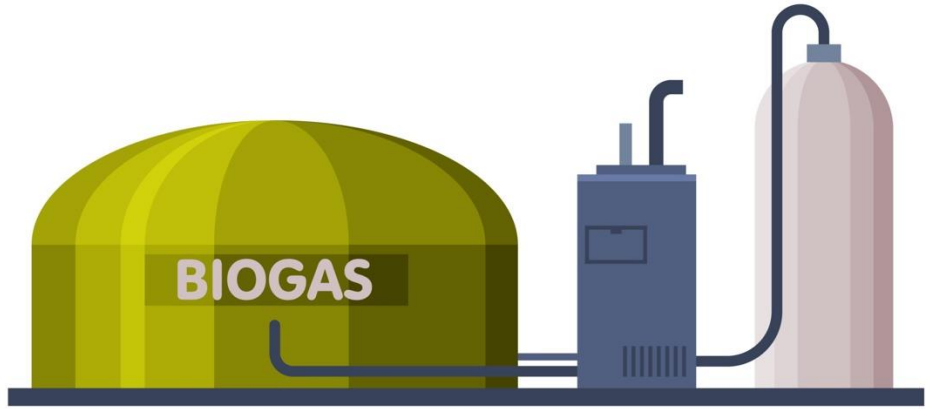
الغاز الحيوي

Biogas

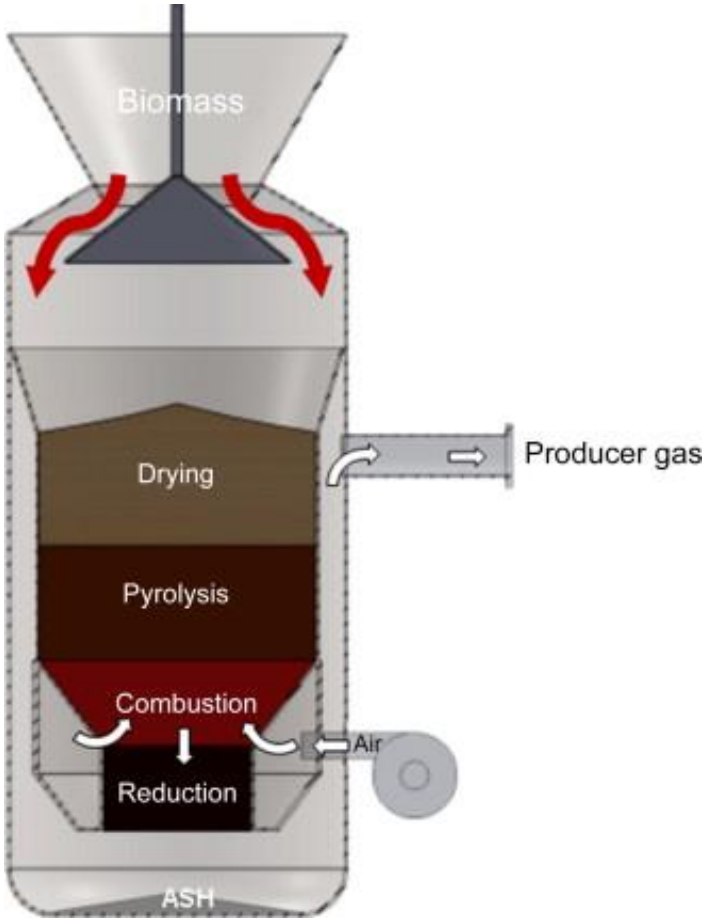
جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

تعريف

- هي غازات تنتج من تفكك المواد العضوية في غياب الأكسجين، و يعد نوعاً من أنواع الوقود الحيوي.
- يتكوّن النمط الأول من الغاز الحيوي بشكل رئيسي من **غاز الميثان و ثاني اكسيد الكربون** .
- **من احدى طرق انتاج الغاز الحيوي:**
  - اجراء عملية هضم لا هوائي.
  - تخمر المواد بالتحلل الحيوي مثل: الكتل الحيوية، السماد العضوي، و مياه المجاري .



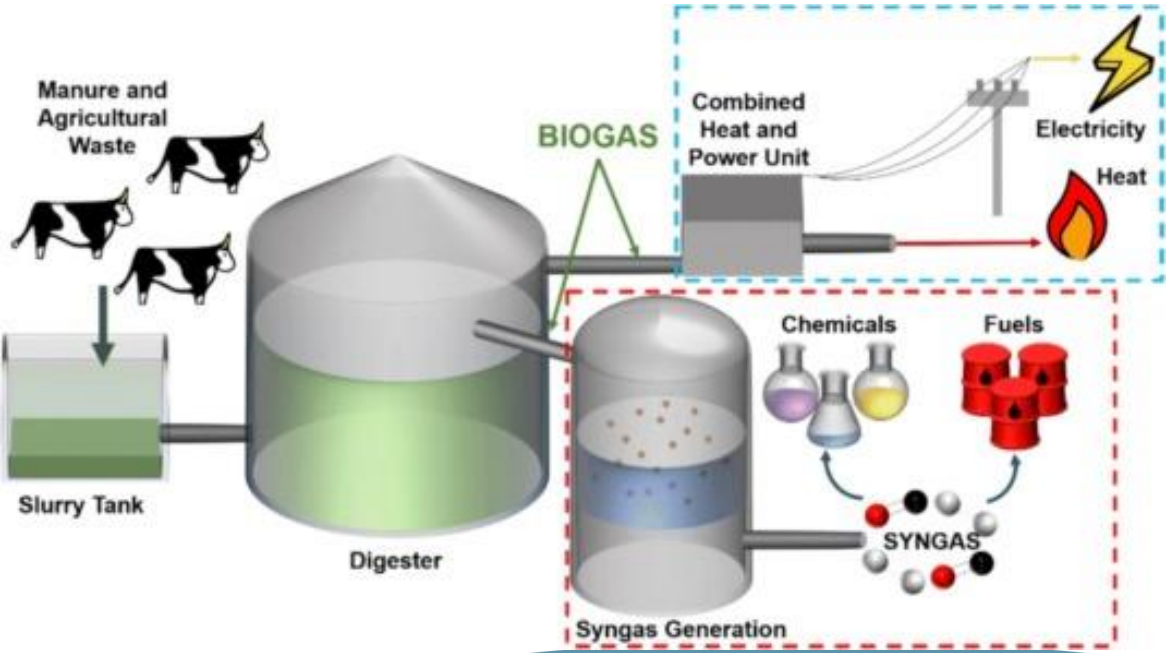
تعريف



- يعتمد **النمط الثاني** من إنتاج الغا ز الحيوي على **غاز الخشب** الذي يتم الحصول عليه من عملية **تغوير الخشب (Gasification)**، أو الكتل الحيوية.
- يتكوّن هذا النمط من الغاز الحيوي **من النيتروجين والهيدروجين واحادي اكسيد الكربون**، مع آثار من غاز الميثان.
- يمكن حرق أو أكسدة مكونات الغاز الحيوي رغم اختلافها، حيث تستخدم الطاقة الناتجة في مختلف نواحي الحياة اليومية.

تركيب ومكونات الغاز الحيوي

- إن المعطيات والبيانات الموجودة في المراجع حول تركيب الغاز الحيوي تعطي معلومات **متباينة جداً**.
- **يعود هذا الأمر إلى وجود عوامل ومتغيرات مختلفة تحدد من طبيعة هذا التركيب**، من بينها:
  - المنشأ الحيوي الأصل الذي يستخرج منه الغاز
  - آلية سير العمل ضمن خزانات التخمير .



أهم مكونات الغاز الحيوي

١. **الميثان:** حيث انه كلما زادت نسبته ضمن المكونات كلما ازدادت نسبة الطاقة التي يمكن الحصول عليها من الغاز الحيوي .

٢. **ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء** فهي مكونات ذات أهمية غير كبيرة.

٣. **كبريتيد الهيدروجين و النيتروجين** حيث يمكن أن يسببان مشاكل بيئية وذلك لإمكانية تشكيل أكاسيد الكبريت والنيتروجين المسؤولة عن تشكل الأمطار الحامضية، فيجب التخلص منها قبل حرقها في محرك احتراق الغاز، خاصة أنها من الغازات الآكلة أيضا.

٤. **غاز النتروجين** غاز خامل يخفض من القيمة الحرارية للغاز الحيوي يجب ازالته بعملية تسمى ترقية الغاز الحيوي.

جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

العوامل المؤثرة على إنتاج الغاز الحيوي

١. درجة الحرارة	٢. درجة الحموضة	٣. نسبة الكربون إلى النيتروجين
٤. تركيز المادة الصلبة في محلول التغذية	٥. معدلات التغذية بالمادة العضوية (درجة التحميل)	٦. زمن بقاء المحلول في المخمر
٧. المواد السامة في التغذية	٨. استخدام البادئات	٩. التقليب داخل المخمر

١. درجة الحرارة

- تؤثر درجة الحرارة بشكل كبير على عملية التخمير وإنتاج الغاز الحيوي .

- **يوجد نوعان من البكتريا المنتجة للغاز:**

- Mesophilic Bacteria ← درجة الحرارة المثلى هي ٣٥ – ٣٧ درجة مئوية، وتنخفض معدلات إنتاج الغاز بدرجة كبيرة مع انخفاض درجة الحرارة.

- Thermophilic Bacteria ← درجة الحرارة المثلى لهذا النوع ٥٥ – ٦٠ درجة مئوية.

جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

١. درجة الحرارة

- **لتوضيح أثر درجة الحرارة**

- ١٠٠٪ ← ٣٧ درجة مئوية ← إنتاج الغاز الحيوي (الظروف المثلى للتخمر الميزوفيلي).

- ٢٥٠٪ ← ٥٠ – ٦٠ درجة مئوية ← إنتاج الغاز الحيوي (تحسن كبير في الإنتاج بسبب التخمر الثرموفيلي).

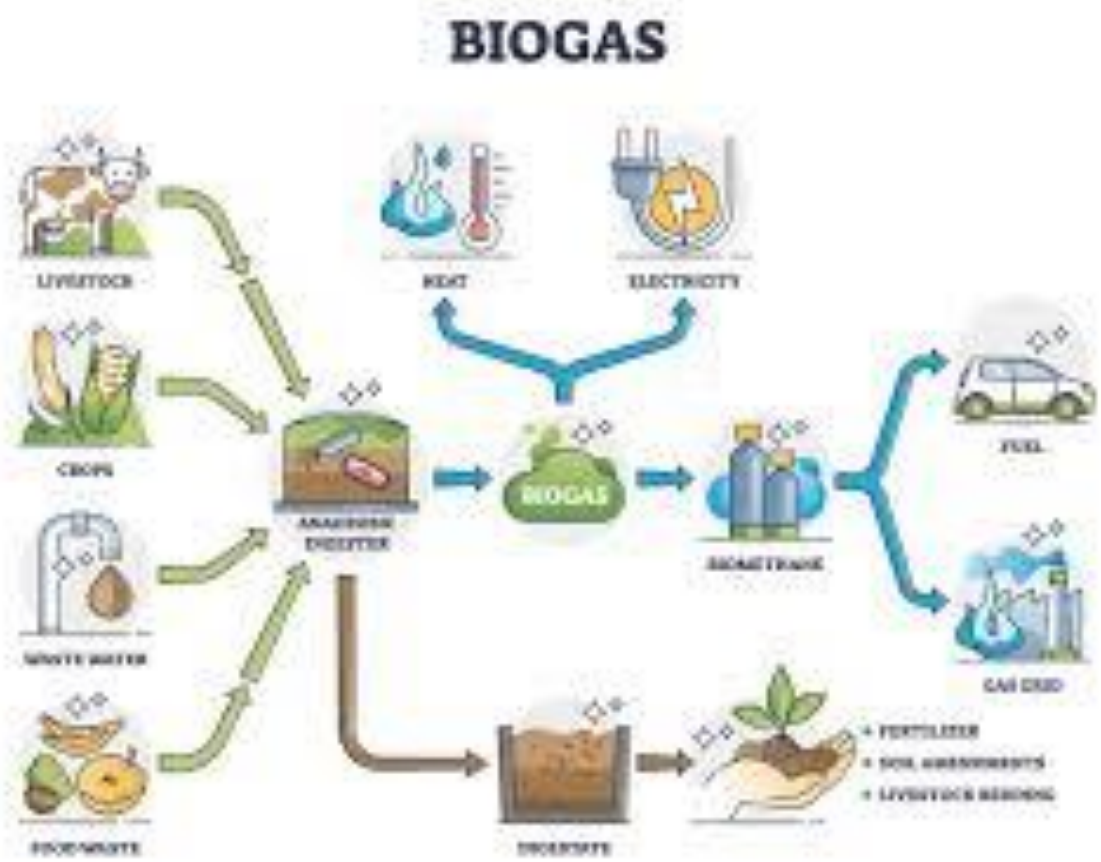
- ٢٥٪ ← ٢٠ درجة مئوية ← إنتاج الغاز الحيوي (تراجع كبير بسبب انخفاض النشاط البكتيري).

٢. درجة الحموضة

- تحتاج الكائنات الحية الدقيقة في التخمير اللاهوائي **إلى وسط متعادل** لتتمكن من العمل بكفاءة، أي عند pH 7.
- على الرغم من أن بكتيريا الميثان تحول المواد العضوية إلى أحماض، فإنها يمكن أن **تعيش في ظروف حامضية** أي عند pH 5.5.
- **بكتيريا الميثان تعمل بكفاءة أفضل عند pH 5.8 – 8.6**، وأثناء عملية التخمر يحدث **توازن بين بكتيريا تكوين الأحماض وبكتيريا إنتاج الميثان** بحيث يبقى pH قريباً من 7 .
- لذلك عند بدء التخمير، يفضل استخدام بادىء مكوّن من **مستحلب متخمر مسبقاً أو استخدام تركيزات منخفضة من المادة العضوية** للإسراع بالوصول إلى مرحلة التوازن.

جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

٣. نسبة الكربون إلى النيتروجين



- تحتاج بكتيريا الميثان إلى **الكربون والنيتروجين** لنموها.
- تستهلك هذه العناصر بنسبة ٢٥ – ٣٠٪ كربون إلى ١٪ نيتروجين (نسبة الكربون إلى النيتروجين)
- تعادل القيمة المثلى لهذه النسبة في التخمير اللاهوائي ٢٥ – ٣٠٪.
- يحتوي روث الأبقاروالأغنام على هذه النسبة تقريباً، ولكنها تتغير باستمرار وبشدة تبعاً للمادة العضوية المستخدمة.

٤. تركيز المادة الصلبة في محلول التغذية

- يتراوح **تركيز المادة الصلبة** في محلول التغذية (أي كمية المادة الصلبة إلى الماء) بين ٨ – ١٠٪.
- تحافظ هذه النسبة على جريان مناسب، وتمنع تكون الأحماض بمعدلات أكبر من استهلاكها مما يحافظ على التوازن في عملية التبخر.
- قد يتم **رفع نسبة المادة الصلبة** في بعض عمليات التخمر المستخدمة إلى ١٢ – ١٤ ٪،وذلك لتقليل المتطلبات الحرارية وتحسين الاقتصاديات.
- تتم عملية التخمير الجاف للمخلفات الصلبة مثل القش والأحطاب والقمامة في تركيزات مرتفعة قد تصل إلى ٢٥ – ٣٠ ٪، ونظرا **لتكون الأحماض** فإنه عادة ما يضاف **مواد مساعدة مثل كربونات الكالسيوم للمساعدة على التوازن** .

جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

٥. معدلات التغذية بالمادة العضوية (درجة التحميل)

- تمثل كمية التغذية اليومية بالمواد العضوية مقسومة على حجم المخمر، أهمية كبيرة حيث **بزيادتها يرتفع إنتاج الغاز.**
- ولكن زيادتها أكثر من اللازم يؤدي إلى تراكم الأحماض العضوية بسبب عدم تمكن بكتيريا الميثان من تحويلها إلى غاز، مما قد يسبب توقف إنتاج الغاز.
- تختلف معدلات التغذية بالمادة العضوية حسب **تركيب المادة العضوية ونوع المخمر المستخدم وحجمه، بالإضافة إلى ظروف التشغيل.**

٦. زمن بقاء المحلول في المخمر

- هو متوسط عدد الأيام التي يبقاها المحلول داخل المخمر، والذي تحكمه عوامل كثيرة من ظروف التشغيل مثل:
  - **درجة الحرارة**
  - **طبيعة المادة العضوية المستخدمة وسهولة تخمرها**
- عادة يكون زمن البقاء حوالي **٤٠ يوماً بالنسبة لتخمر روث الماشية** في الظروف العادية بدون تسخين.

جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

٦. زمن بقاء المحلول في المخمر

حدود زمن بقاء المحلول في المخمر

الحد الأدنى يحدد بسرعة تكاثر البكتيريا

انخفاضه عن الفترة اللازمة لتكاثر البكتيريا يساعد على **نقص عدد البكتيريا في المخمر** مما يسبب **توقف أو انخفاض انتاج الغاز.**

الحد الأقصى تحدده عوامل اقتصادية

زيادة زمن البقاء يؤدي إلى **زيادة حجم المخمر** وبالتالي **زيادة التكاليف.**

جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

٧. المواد السامة في التغذية

- المضادات الحيوية
- المبيدات الحشرية
- المنظفات الصناعية
- المعادن الثقيلة مثل: **الكروم، النيكل، النحاس، والزنك.**
- تعتبر **مواد سامة للكائنات الحية الدقيقة** التي تقوم بإنتاج الغاز الحيوي
- كما أن **ارتفاع تركيز الأمونيا** والذي ينجم عن **انخفاض نسبة الكربون إلى النيتروجين** قد يسبب تسمم للبكتيريا.

جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

٨. استخدام البادئات

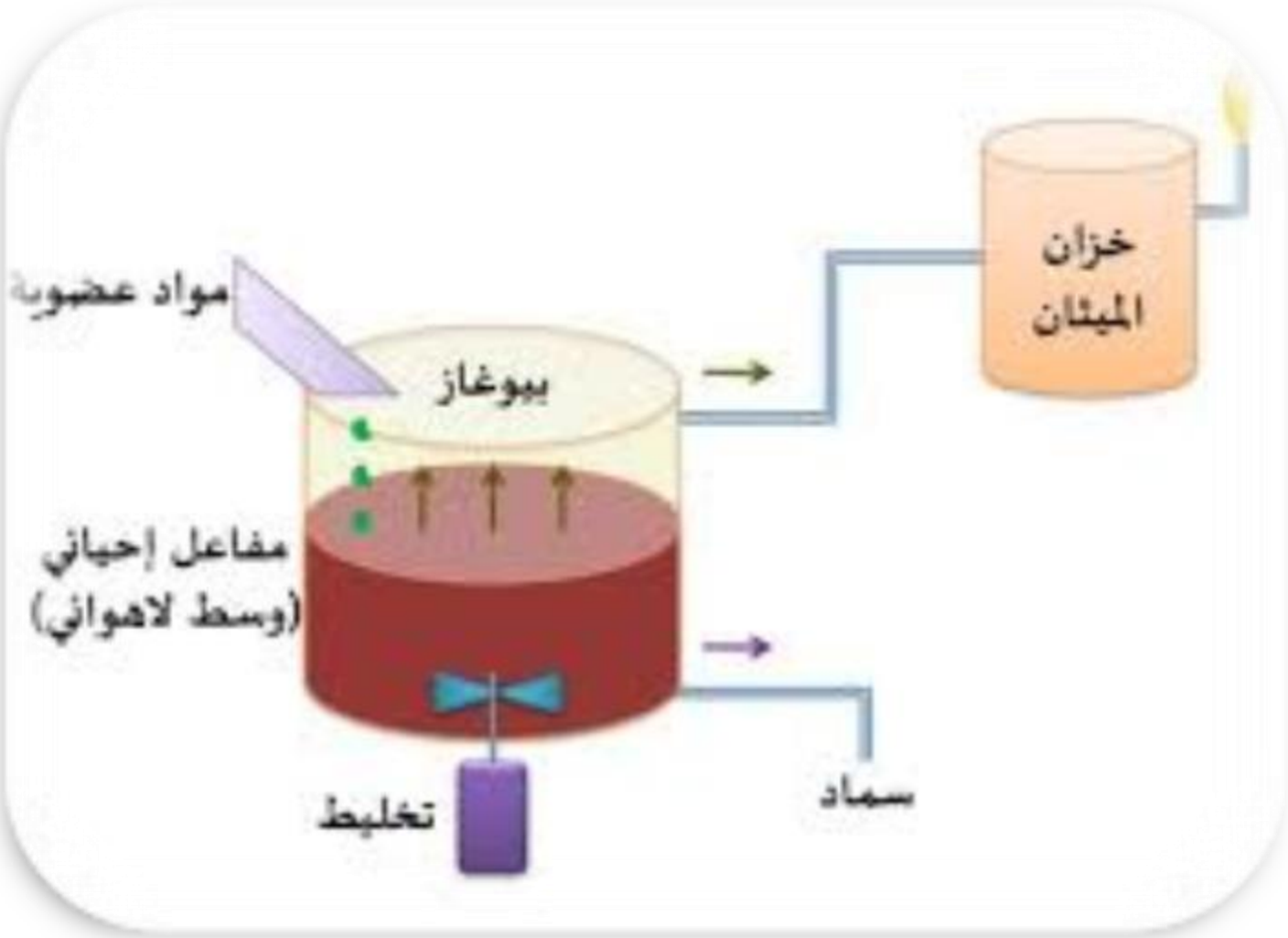
- عند بدء تشغيل المخمر، **يُفضل إضافة نسبة من مخلوط تخمير نشط لتسريع عملية التخمر.**
- يحتوي هذا المخلوط **على توازن مناسب بين بكتيريا الميثان وبكتيريا الحمض**، مما يمكنها من العمل فوراً بعد إضافتها.
- قد لا يكون استخدام المنشط ضرورياً، إذ يمكن للمخمر أن يعمل **بدونه في حال استخدام روث الماشية**، لكن ذلك يستلزم الانتظار بضعة أيام حتى يصل لعدد كافٍ من بكتيريا التحلل وبكتيريا الميثان.

جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

٩. التقليب داخل المخمر

- تعد عملية التقليب من العوامل الأساسية **لرفع كفاءة التخمروزيادة إنتاجية الغازالحيوي**.
  حيث يؤدي **التقليب إلى تجانس مكونات المخمر**، مما يعزز فرص التلامس بين المخلفات والبكتيريا، وبالتالي يزيد من نشاط بكتيريا الميثان، مما يرفع معدلات إنتاج الغاز.
- كما أنه **يمنع تشكل طبقة الخبث على سطح مخلوط التخمر**، والتي قد تتصلب وتعيق صعود الغاز إلى الأعلى. وتجدر الإشارة إلى **أن التغذية اليومية بالمواد الطازجة تُعدّ إحدى طرق التقليب**، لذلك يُفضل تكرار عملية التغذية عدة مرات يومياً لتعزيز فرص التقليب.
- يتم التقليب بطرق مختلفة، منها: التقليب اليدوي، التقليب الميكانيكي، أو من خلال إعادة تدوير المحلول أو الغاز داخل المخمر.

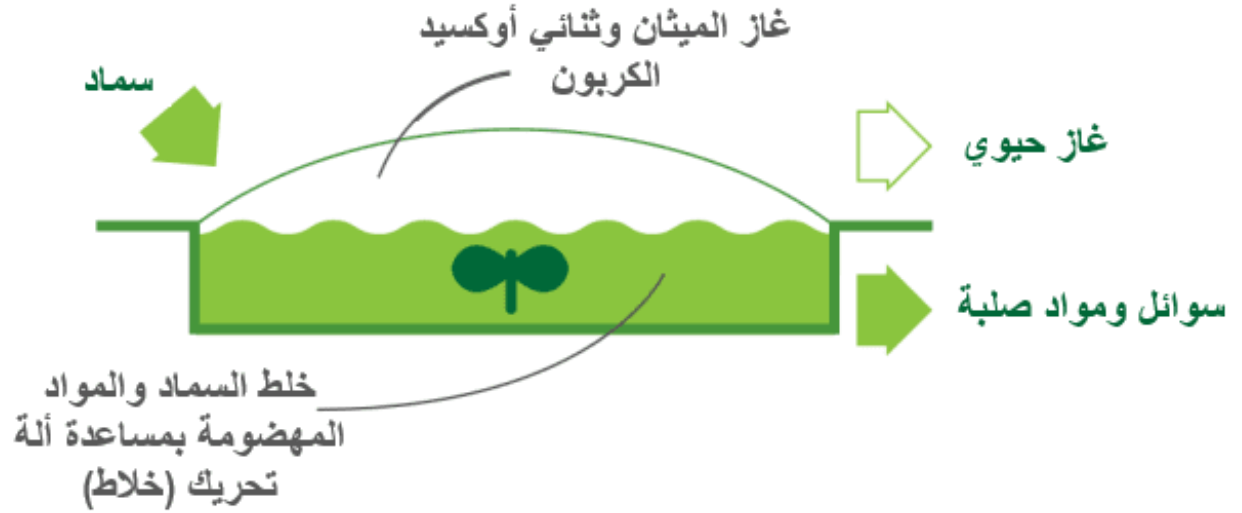
٩. التقليب داخل المخمر



المخلفات العضوية المنتجة للغاز الحيوي:	
مخلفات منزلية	القمامة ،مخلفات المطابخ بقايا الأطعمة، بقايا الخضروات والفاكهة ، وغيره.
مخلفات صناعية	مخلفات صناعة الالبان والأغذية والمشروبات ومخلفات المسالخ بأنواعها.
مخلفات نباتية	قش الأرز والأغصان والثمار التالفة وغيرها.
مخلفات الحشائش	حشائش زراعية وبرية ومائية.
مخلفات حيوانية	روث الماشية ومخلفات سماد الدواجن والطيور المنزلية.

إنتاج الغاز الحيوي من المكبات

- يتكون الغاز الحيوي في المكبات **نتيجة تحطم المادة العضوية في النفايات** بطريقة **التخمر اللاهوائي**.
- بشكل عام يشكل **غاز الميثان وثاني أكسيد الكربون** ما قيمته **٩٩٪ من الغاز الحيوي** المنتج.



جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

مراحل انتاج الغاز الحيوي في المكبات:

١. مرحلة التفاعلات الهوائية:

تبدأ المواد القابلة للتحلل عضويا في النفايات بالتحلل تحت تأثير الميكروبات النشطة ضمن تفاعلات هوائية

٢. المرحلة الانتقالية

تبدأ التفاعلات اللاهوائية بعد استهلاك كامل الأوكسجين، حيث تبدأ بعض غازات النيتروجين، وكبريتيد الهيدروجين بالتصاعد في هذه المرحلة.

٣. مرحلة الحموضة

التميُّه HYDROLYSIS: تحطيم المركبات الكبيرة إلى مركبات بسيطة قابلة للهضم من قبل ميكروبات الأحماض كمصدر للطاقة والكربون

الحموضة : حيث تتحول المواد العضوية المهضومة إلى أحماض تحت تأثير انزيمات البكتيريا.

٤. مرحلة تكوّن غاز الميثان

تنشط الميكروبات المسؤولة عن توليد غاز الميثان وتحول الأحماض المتكونه وغاز الهيدروجين وثاني اكسيد الكربون إلى الغاز الحيوي

٥. مرحلة النضوج

يستمر تولد الغاز الحيوي باستقرار وبمعدل شبه ثابت.

آلية انتاج غاز الميثان في المصانع

- ينتج غاز الميثان عن عملية الهضم اللاهوائي التي تحدث بفضل تعايش تكافلي بين عائلتين من الأحياء الدقيقة:

  - البكتيريا الصانعة للأحماض
  - البكتيريا الصانعة للميثان

- يلخص هذا التعايش التكافلي بين هذين النوعين من الأحياء الدقيقة بمرحلتين رئيسيتين:

- المرحلة الأولى: التحلل الأولي للمواد العضوية
- المرحلة الثانية: الهضم الميكروبي الحيوي

جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

مراحل انتاج غاز الميثان في المصانع

المرحلة الأولى: التحلل الأولي للمواد العضوية

١. تحليل المواد العضوية:

تحلل بكتيريا خاصة المركبات العضوية المعقدة إلى:

- السكريات العديدة ← سكريات أحادية وثنائية
- البروتينات ← أحماض أمينية
- الدهون ← أحماض دهنية طويلة

٢. إنتاج الأحماض العضوية الطيارة:

تقوم البكتيريا الصانعة للأحماض بتحويل المواد المتحللة إلى أحماض عضوية طيارة مثل حمض الخل CH_3COOH.

٣. إنتاج غاز الميثان:

تستخدم البكتيريا الصانعة للميثان الأحماض العضوية الطيارة كركيزة لإنتاج غاز الميثان CH_4، حسب المعادلة:

$$C_6H_{12}O_6 \Rightarrow 3CH_3COOH \Rightarrow 3CH_4 + 3CO_2$$

المرحلة الثانية: الهضم الميكروبي الحيوي

- تنفذ هذه العملية في أوعية معزولة عن الهواء تُعرف باسم **الهواضم**.
- يجب الحفاظ على **التوازن بين سرعة تصنيع الأحماض العضوية الطيارة وسرعة تفكيكها**، إذ أن أي خلل قد يضر بالتشغيل الجيد للهاضمة.
- البكتيريا الصانعة للميثان حساسة جداً للشروط الحامضية، لذا يجب ضبط الظروف البيئية بدقة للحفاظ على استقرار الوسط البيولوجي.

مخرجات الهواضم الحيوية

❖ أولاً: السماد الحيوي

- يتميز السماد الحيوي الناتج عن الهواضم بـ:
  - **جودة عالية وخلوه من العوامل الممرضة.**
  - **عدم انبعاث الرائحة التي تجذب الحشرات.**
  - **احتوائه على بعض الفيتامينات مثل فيتامين B_{12}، حيث نمو البكتيريا في المخمر يتطلب اضافته.**
  - **يحتوي السماد على منظمات النمو والهرمونات النباتية.**

جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

مخرجات الهواضم الحيوية

❖ ثانياً: الغاز الحيوي

- يُستخدم الغاز الحيوي كـ طاقة حرارية بديلة لتسخين المياه والتدفئة وتوليد الكهرباء، ويتميز بالآتي:

١. **تقنية بسيطة وميسرة:** متاحة في المناطق البعيدة عن مصادر الطاقة، حيث لا تحتاج إلى استثمارات مالية أو تقنية عالية، كما لا تُطلق ملوثات بيئية، بل تساعد في التحكم بها.

٢. **طاقة حرارية نظيفة، مستدامة، غير ناضبة، ورخيصة:** كل متر مكعب من الغاز الحيوي يعادل من حيث الطاقة: ٨ كغ حطب، ٠,٦ لتر مازوت، ٤٤٪ كغ بوتان، ١,٥ كيلوواط/ساعة طاقة ميكانيكية.

٣. **إنتاج كهرباء محلية كافية للاحتياجات الأساسية:** يمكن توليد طاقة كهربائية تكفي لاستهلاك المزارع و المنازل السكانية البعيدة.

التجربة ٥: انتاج الغاز الحيوي

جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

الأدوات

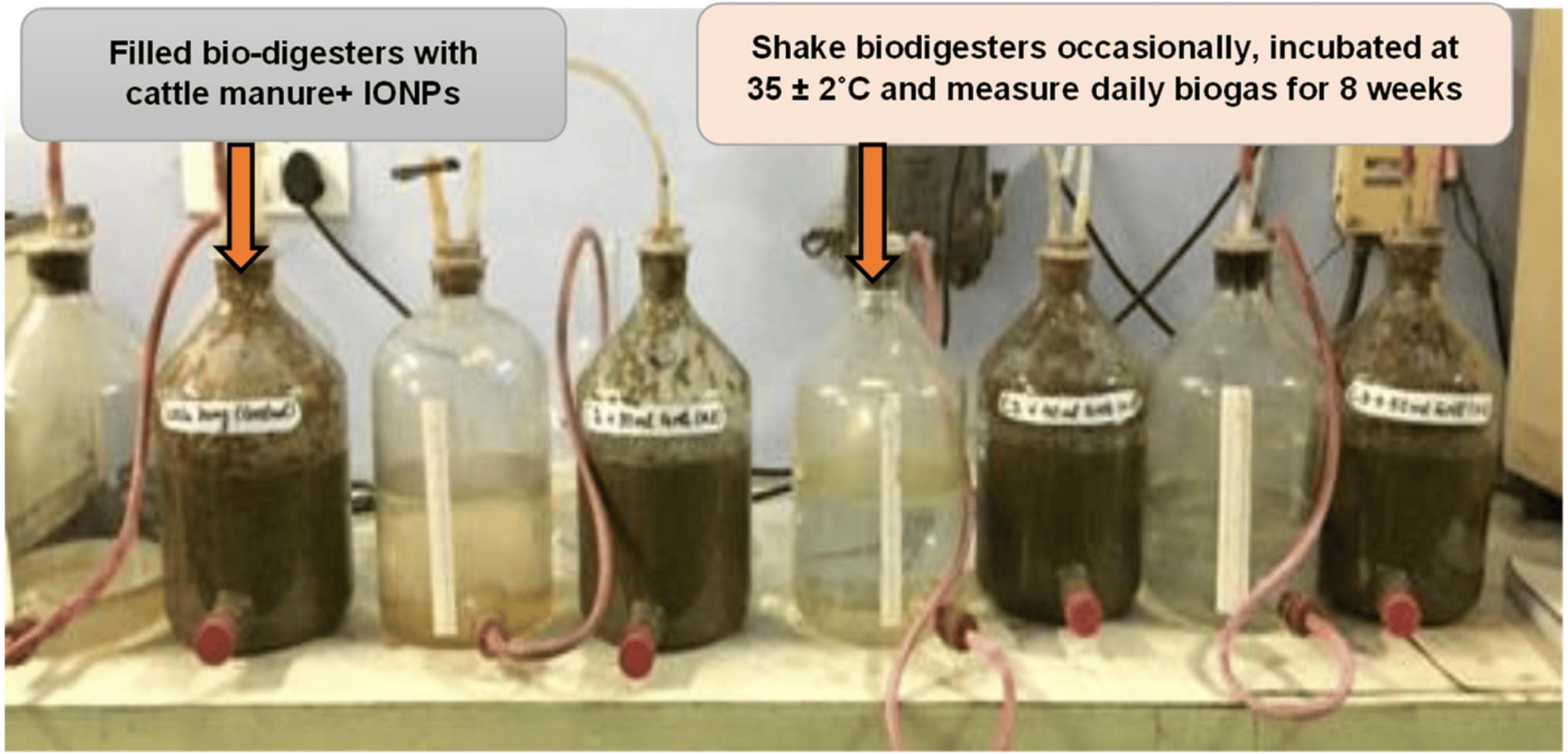
- دورقين لهما سدادات
- أنبوب يصل السدادتين
- مخلفات نباتية أو عضوية
- تربة
- ماء مقطر
- ورق ترشيح

جامعة الملك سعود
King Saud University
1957

طريقة العمل

- يوضع في الدورق الأول المخلفات النباتية أو المواد العضوية، ثم يغلق بإحكام باستخدام سدادة.
- يملئ الدورق الثاني بالماء، ثم يغلق بسدادة بلاستيكية (تُثبت عليها بالون للكشف عن الغاز).
- يربط الدورقين باستخدام أنبوبة مطاطية.
- يحضن النظام لمدة شهر تقريباً في درجة حرارة المعمل، مع مراقبة النتائج بشكل دوري.

النتائج


Filled bio-digesters with cattle manure+ IONPs
Shake biodigesters occasionally, incubated at 35 ± 2˚C and measure daily biogas for 8 weeks

alalabbad@ksu.edu.sa

جامعة الملك سعود
King Saud University
1957