الغاز الحيوي biogas

١- تقنية إنتاج الغاز الحيوي – الهضم اللاهوائي

تعتمد تقانة الغاز الحيوي على تفكك المخلفات والمواد العضوية وتحللها، وذلك في ظروف لاهوائية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة وبشروط ملائمة للعمليات الحيوية التي تقوم بها هذه الكائنات ضمن الهاضم، مما يؤدي إلى انطلاق غاز قابل للاشتعال يعرف بالغاز الحيوي، والذي يشكل غاز الميثان الجزء الأكبر من تركيبة. إضافة إلى ذلك ينتج عن عملية التخمر مادة غنية تستخدم كسماد عضوي نظيف وعالي الجودة وخالي من البذور الضارة والكائنات الممرضة وليس له رائحة جاذبة للحشرات.

١-٢- مراحل عملية التخمر اللاهوائي

التخمر اللاهوائي هو عمليه تحطيم وتفكيك المواد العضوية من أجل إنتاج الغاز الحيوي، وتتم هذه العملية ضمن وحدات معزولة تماماً عن الهواء تسمى المخمرات، حيث تقوم فيها الكائنات الحية الدقيقة بتحويل المواد العضوية إلى غاز حيوي في ظل ظروف لا هوائية.

يتضمن التخمر اللاهوائي أربع مراحل رئيسية هي: الحلمة (hydrolysis)، التحميض (acidogenesis)، تشكل حمض الخل (acetogenesis) ومرحلة تشكل الميثان (methanogenesis).

١-٢-١- مرحلة الحلمهة (hydrolysis):

الحلمهة أو التحلل المائي (Hydrolysis) هو المرحلة الأولى من التخمر اللاهوائي. خلال التحلل المائي، تتحلل ركائز معقدة مثل المواد العضوية التي تحتوي على البروتينات والكربوهيدرات والدهون إلى جزيئات أبسط قابلة للذوبان. تتحلل السكريات إلى سكريات بسيطة، والبروتينات إلى الأحماض الأمينية، والدهون إلى الجلسرين والأحماض الدهنية طويلة السلسلة، حيث تقوم بكتريا (Hydrolytic bacteria) بإطلاق إنزيمات خارجية (Exoenzymes) تقوم بتحويل الجزيئات المعقدة إلى جزيئات أبسط وفق المخطط التالي:

(ملاحظة: أسماء الانزيمات في المخطط للاطلاع)

تؤمن الدهون إنتاج عالي من الغاز الحيوي ولكنها تحتاج إلى زمن بقاء أطول بسبب قدرتها الضعيفة على التحول البيولوجي (bioavailability) بعكس الكربوهيدرات والبروتينات التي تظهر معدلات تحول أسرع ولكن غاز حيوي اقل.

١-٢-٢- مرحلة التحميض (Acidogenesis):

التكوُّن الحامضي أو مرحلة التحمض Acidogenesis، والذي يُطلق عليها أيضًا التخمر (fermentation)، ويتم خلال هذه المرحلة تحويل منتجات التحلل المائي أو منتجات مرحلة الحلمهة – وذلك بواسطة بكتريا التحميض (aciodgenic bacteria) – إلى الأحماض الدهنية المتطايرة (VFAs) والكحولات والهيدروجين (H2) و غاز ثنائي أوكسيد الكربون (CO2).
يبين الجدول (١) أمثلة على منتجات مختلفة من تخمر سكر الجلوكوز خلال مرحلة الحلمهة

الجدول (١) أمثلة على منتجات مختلفة من تخمر سكر الجلوكوز خلال مرحلة الحلمهة (للإطلاع)

النواتج	التفاعل
Acetate	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$
Propionate + Acetate	$3C_6H_{12}O_6 \rightarrow 4CH_3CH_2COOH + 2CH_3COOH + 2CO_2 + 2H_2O$
Butyrate	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$
Lactate	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CHOHCOOH$
Ethanol	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$

١-٢-٣- مرحلة تشكل حمض الخل (acetogenesis):

في مرحلة تشكل حمض الخل acetogenesis تتحول الحوض العضوية والمركبات الأخرى – ويطلق عليها عادة منتجات وسيطة متخمرة fermentative intermediates – إلى حمض الخل (acetic acid) وثاني أوكسيد الكربون والهيدروجين.

يبين الجدول (٢) تحول بعض الأحماض الدهنية المتطايرة الأساسية إلى حمض الخل CH3COOH .

الجدول (٢) تحول بعض الأحماض الدهنية المتطايرة الأساسية إلى حمض الخل CH3COOH (للأطلاع)

الركيزة	التفاعل
Propionic acid	$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + 3H_2 + CO_2$
i-butyric acid	$CH_3(CHCH_3)COOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$
Butyric acid	$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$
i-valeric acid	$CH_3(CHCH_3)CH_2COOH + 2H_2O + CO_2 \rightarrow 3CH_3COOH + H_2$
Valeric acid	$CH_3CH_2CH_2CH2COOH + 2H_2O + CO_2 \rightarrow 3CH_3COOH + H_2$

١-٣-٤- مرحلة تشكل غاز الميثان (Methanogensis):

تتمثل الخطوة الأخيرة لعملية الهضم اللاهوائي في تكوين الميثان methanogenesis، وتعمل ضمن هذه المرحلة مجموعتان رئيسيتان من أجناس بكتريا الميثان (methanogens)، حيث يتم إنتاج غاز الميثان CH_4، إلى جانب غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2. هناك مساران رئيسيان لمرحلة تكوين الميثان. في المسار الأول (acetoclastic methanogenesis) تقوم بكتريا (acetoclastic methanogens) والتي تهيمن على ٩٠% من تعداد بكتريا الميثان في هذه المرحلة – والتي تسمى أيضاً في بعض المراجع (acetotrophic methanogens) – باستقلاب حمض الخل (acetic acid) إلى غاز الميثان وغاز ثاني أوكسيد الكربون. وفي المسار الثاني يتم إنتاج غاز الميثان بالإضافة إلى الماء من غاز ثاني أوكسيد الكربون والهيدروجين (بإرجاع ثاني أوكسيد الكربون بالهدروجين) وذلك عن طريق بكتريا (hydrogen-consuming archaea) أو (hydrogentrophic methanogens)، والتي تسمى أيضاً البكتريا المُستخدمة أو المُستهلكة للهيدروجين (Hydrogen-utilizing methanogenic bacteria). يتم بشكل عام إنتاج ٧٠% من غاز الميثان خلال العمليات البيولوجية في المسار الأول، و٣٠% في المسار الثاني.

المسار (1)

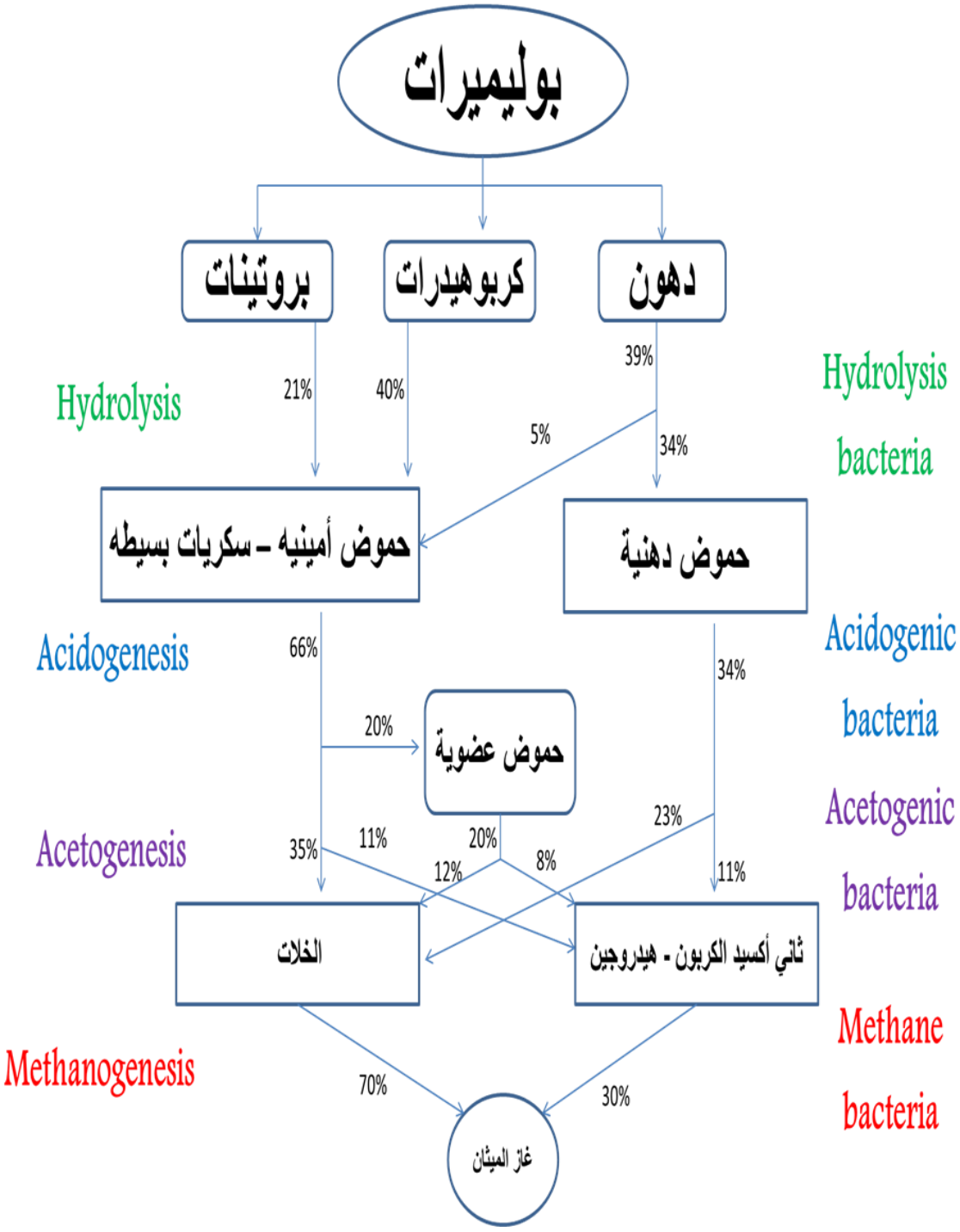
$$\underset{\text{حمض الخل}}{CH_3COOH} \longrightarrow \underset{\text{ميثان}}{CH_4} + \underset{\text{ثاني أوكسيد الكربون}}{CO_2}$$

المسار (2)

$$\underset{\text{هيدروجين}}{4H_2} + \underset{\text{ثاني أوكسيد الكربون}}{CO_2} \longrightarrow \underset{\text{ميثان}}{CH_4} + \underset{\text{ماء}}{2H_2O}$$

تعتبر مرحلة تشكل الميتان المرحله الحرجة بالمقارنة مع المراحل السابقة، حيث أن بكتيريا الميثان شديدة الحساسية لظرف التشغيل والبيئة الحاضنة لعمليه الهضم اللاهوائي

وفيما يلي الشكل (١) الذي يوضح الطريق الذي تسلكه المواد العضوية والنسب المئوية لتفكك هذه المواد ضمن كل مرحله من المراحل التي وردت في الفقرات السابقة أثناء رحله التحطم البيولوجي التي تنتهي بتشكل غاز الميتان (للاطلاع)



الشكل (١) مخطط يبين مراحل التخمر اللاهوائي التفصيلية (للاطلاع)

١- ٣- صفات الغاز الحيوي

الغاز الحيوي (biogas) هو غاز قابل للاشتعال يتشكل نتيجة للتفكك البيولوجي للمادة العضوية وذلك بواسطة البكتريا اللاهوائيه، وتتم العملية بالمجمل في ظروف غياب الأوكسجين، وبمعنى أخر إن الغاز الحيوي المتشكل هو أحد نواتج هدم المادة العضوية أثناء عملية تنفس واستقلاب الخلايا البكتيرية. يتم إنتاج الغاز الحيوي باستخدام تقنية التخمر اللاهوائي ضمن هواضم مخصصه، لذلك ويتكون بشكل رئيسي من الميثان وغاز ثاني أوكسيد الكربون.

يشتعل الغاز الحيوي دون أن يتصاعد منه دخان مكونا لهب أزرق شديد الحرارة، والطاقة الناتجة من ١ م^{٣} من الغاز الحيوي (نسبة الميتان ٦٥%) تكافئ ٠.٧ لتر بنزين و ٠.٦ م^{٣} غاز طبيعي، والطاقة الحرارية الناتجة عن حرق ٠.٨ كغ خشب (١٢% رطوبة). وبالنسبة للاستخدامات المنزلية فإن ١ م^{٣} من الغاز الحيوي تكفي لطهي ثلاث وجبات لعائلة مؤلفة من ٥-٦ أشخاص. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه بسبب الصفات الكيمائية والفيزيائية للغاز الحيوي، فإن مواقد غاز البوتان التجارية ليست ملائمة للغاز الحيوي، حيث يلزم ٦ لتر من الهواء لحرق لتر واحد من الغاز الحيوي، لذلك نحتاج إلى مواقد ذات فوهات غاز أكبر.

الغاز الحيوي أخف من الهواء وتبلغ حرارة الاشتعال له ٧٠٠ C° ومن الصعب إسالته، وهو غاز عديم اللون يتطاير بالهواء للأعلى كون وزنه أخف من الهواء (نصف كثافة الهواء). ويعتمد تركيب الغاز الحيوي على تركيب المواد العضوية المتفككة، فإذا كانت المادة العضوية تتكون بشكل رئيسي من الكربوهيدات تكون نسبة الميثان في الغاز الحيوي أقل مقارنة بالمادة العضوية التي تشكل الدهون النسبة الأكبر من تركيبها. ويتكون الغاز الحيوي بشكل رئيسي من غاز الميثان (٥٥ – ٧٠)% و غاز ثاني أوكسيد الكربون (٣٠ – ٤٥)% ونسبة قليلة (١-٢)% من غازات أخرى مثل / O_2 – N_2 – CO – NH_3 – H_2 - H_2S. ويعتبر غاز الميثان – المكون الرئيسي للغاز الحيوي – هو الغاز الحامل للطاقة.

نهاية الجلسة