

تأثير درجة الحرارة المتغيرة (حرارة الجو المحيط) في عملية التخمر اللاهوائي لمخلفات الفول *Vicia Faba*

داود ملوك* (1)

(1). عضو هيئة فنية تعليمية (قائم بالأعمال) في كلية الزراعة، جامعة حماه - حماه - سلمية.

(* الباحث: داود ملوك، إيميل: dawod_81@hotmail.com هاتف: 0338811109 موبايل:

0992765291).

تاريخ القبول: 2025/1/26

تاريخ الاستلام: 2024/8/5

الملخص

هدف هذا البحث لدراسة تأثير درجة الحرارة المتغيرة (درجة حرارة الجو المحيط) في عملية التخمر اللاهوائي وإنتاج الغاز الحيوي من مخلفات الفول (BW) bean wastes. أجريت التجربة باستخدام وحدات تخمير لاهوائية سعة كل منها لتر واحد، عند درجة الحرارة الثابتة 37 °C وعند درجة حرارة متغيرة ضمن المجال (7 - 13) °C ولمدة ثلاثين يوماً. بلغ إنتاج الغاز الحيوي ضمن ظروف درجة الحرارة الثابتة 262 LN/Kg VS بزيادة وصلت إلى 167.3 % بالمقارنة مع إنتاج الغاز الحيوي ضمن ظروف درجة الحرارة المتغيرة والذي بلغ 98 LN/Kg VS.

تم قياس درجة الحموضة pH لوسط التخمر اللاهوائي يومياً، باستعمال جهاز مخبري صُمم خصيصاً لهذا الغرض، وكانت قيم درجة الحموضة ملائمة لعملية التخمر اللاهوائي وتراوحت بين 5.4 - 8.8. إن المحتوى المرتفع من المادة العضوية في مخلفات الفول وغنى هذه المخلفات بالكربوهيدرات، يجعل منها مادة جيدة لإنتاج الغاز الحيوي.

الكلمات المفتاحية: الغاز الحيوي، التخمر اللاهوائي، درجة الحرارة المتغيرة، مخلفات الفول.

المقدمة

ينتج الغاز الحيوي من عملية التخمر اللاهوائي للمواد العضوية، عندما تقوم أحياء دقيقة متخصصة بتحليل هذه المواد العضوية في ظروف غياب الأوكسجين. ويحدث ذلك على نحو تلقائي في المستنقعات ومقالب النفايات، وتُطبق أيضاً عملية التخمر في الهواضم اللاهوائية حيث تتحلل مختلف أنواع المخلفات العضوية (Berglund, 2006). تتحلل المواد العضوية بتأثير الجراثيم المنتجة للحمض acidogenic bacteria خلال عملية التخمر اللاهوائي، وينتج عن ذلك أحماض عضوية والتي بدورها تتأكسد بتأثير الجراثيم المنتجة للخلات acetogenic bacteria إلى أسيتات (خلات) وجزيئات هيدروجين وغاز ثنائي أوكسيد الكربون، والتي تُعدّ ركائز مناسبة للجراثيم المولدة للميثان methanogenic bacteria التي تُنتج غاز الميثان الحامل للطاقة والمكون الأكبر للغاز الحيوي (Carucci et al; 2005). ويتضمن التخمر اللاهوائي أربع مراحل رئيسية هي، التحلل المائي (Hydrolysis): هي المرحلة الأولى من التخمر اللاهوائي. خلال التحلل المائي، تتحلل المواد العضوية المعقدة التي تحتوي بشكل أساسي 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. مرحلة إنتاج الأحماض Acidogenesis: ويتم خلال هذه المرحلة تحويل منتجات التحلل المائي أو منتجات مرحلة الحموضة إلى الأحماض الدهنية المتطايرة (VFAs) Volatile Fatty Acids والكحولات والهيدروجين (H_2) و CO_2 (Bayr, 2014). مرحلة تشكل حمض الخل acetogenesis: وفي هذه المرحلة تتحول الأحماض العضوية والمركبات الأخرى – ويطلق عليها عادة منتجات وسيطة متخمرة fermentative intermediates – إلى حمض الخل (acetic acid) وثنائي أكسيد الكربون والهيدروجين (Bayr, 2014). مرحلة تشكل غاز الميثان (Methanogenesis): وهي المرحلة النهائية والتي تقوم فيها الجراثيم المولدة للميثان بإنتاج غاز الميثان، حيث إن 70% من كمية الغاز تتشكل عن طريق تفكك حمض الخل إلى غاز الميثان وغاز ثنائي أكسيد الكربون، وإرجاع ثنائي أكسيد الكربون بالهدروجين يتم تشكيل الكمية المتبقية (Mara and Horan, 2003).

تؤثر درجة الحرارة بشكل ملحوظ على إنتاج الغاز الحيوي أثناء الهضم اللاهوائي (Xie, 2012). إن عملية التخمير اللاهوائي وإنتاج الميثان تتم في مدى من درجات الحرارة يتراوح بين 10 – 60 درجة مئوية والتي تقسم بشكل عام إلى: درجات حرارة منخفضة ($> 20^\circ C$ Psychrophilic)، درجات حرارة معتدلة ($30-42^\circ C$ Mesophilic)، درجات حرارة عالية (55- Thermophilic) ($43^\circ C$) (AL Seadi et al., 2008).

إن ثبات درجة الحرارة هو عامل حاسم ومهم في عملية التخمير اللاهوائي، فقد بينت التجارب أن زيادة أو نقصان درجة الحرارة بمعدل درجة مئوية واحدة يؤدي إلى تثبيط مؤقت لعمل البكتريا (Mattocks, 2002). ومع ذلك، هناك حالات تتعرض فيها المخمرات إلى تغيرات في درجات الحرارة، وذلك تبعاً للمنطقة الجغرافية وتقلبات الليل والنهار (Masse et al., 2003). وتقت العديد من الدراسات إمكانية إنتاج الغاز الحيوي ضمن ظروف التغير في درجات الحرارة. تم رصد تأثير تغيرات درجات الحرارة اليومية ضمن المدى ($19-32^\circ C$) على أداء عملية التخمير اللاهوائي وذلك في تجربة مخبرية قام بها Alvarez و Liden (2008a)، دلت النتائج على انخفاض إنتاج الغاز الحيوي بنسبة 46% بالمقارنة مع التخمير في ظروف درجة الحرارة الثابتة $35^\circ C$. وعند التخمير اللاهوائي لمياه الصرف الصحي بظروف درجة الحرارة ($18-24^\circ C$)، انخفض إنتاج الميثان بنسبة 28.5% بالمقارنة مع كمية الغاز الحيوي الناتجة عند درجة حرارة $35^\circ C$ (Ahn and Forster, 2002). وذكر Chayovan وزملاءه (1988)، أن الهضم اللاهوائي يمكن أن يتحمل درجة معينة من التقلبات في درجات الحرارة، حيث زاد إنتاج الغاز الحيوي بنسبة 14% عند تخمر روث الأبقار في ظروف الحرارة المتغيرة ($32-39^\circ C$) بالمقارنة مع الثابتة $35^\circ C$ ، وعزا الباحثون السبب إلى استقرار عملية الهضم حيث كانت قيم درجة الحموضة PH قريبة من المعتدلة (7.5 ± 0.5).

يتبع الفول العائلة البقولية Leguminaceae الاسم العلمي *Vicia Faba*، وهو نبات حولي عشبي ويعتبر من المحاصيل البقولية الرئيسية الهامة. يحتوي نبات الفول على جذر وتدي عميق قد يصل إلى عمق 100 سم، وساق قائمة مضلعه يتراوح طولها بين 60-160 سم، أما الورقة فهي ريشة مركبة من 3 أو 5 أو 7 وريقات بيضاوية الشكل. تتألف ثمرة الفول من كرتلة واحدة، وهي قرنية قشرتها جلدية مطبنة بزغب أبيض، ويتراوح طولها بين 8-48 سم وعرضها بين 1-3.5 سم تحتوي على 1-8 حبات حسب الصنف. يكون شكل القرن مستقيم يميل إلى الانحناء قليلاً، ولونه أخضر يميل إلى الاسمرار عند تمام النضج (Dubrovskis et al., 2019). تصل المساحة المستثمرة سنوياً من الفول الأخضر في الجمهورية العربية السورية إلى 14933 هكتار تعطي إنتاجاً يقدر بنحو 30990 طن (المجموعة الإحصائية، 2014).

تهدف هذه الدراسة إلى التحري عن الإنتاج الأعظمي للغاز الحيوي الناتج عن التخمير اللاهوائي لمخلفات الفول (القشرة الخارجية لقرن الفول)، وذلك باستخدام وحدات تخمير لاهوائية مخبرية ضمن ظروف درجة الحرارة الثابتة 37 °C، ومقارنتها مع التخمير اللاهوائي ضمن ظروف درجة الحرارة المتغيرة (حرارة الجو المحيط).

مواد وطرائق البحث

• العينات ووسط التخمير:

تم جمع مخلفات الفول (القشرة الخارجية لقرن الفول) من مزرعة تبعد 2 كم باتجاه الشمال من مدينة السلمية. تم تفتيت العينة لتصبح بأبعاد (0.3 – 1) سم، وحفظت بدرجة حرارة 4 °C (Palmowski and Muller, 2000).

وسط التخمير: هو الراسب الناتج عن عملية الهضم اللاهوائي في وحدة التخمير، ويُستعمل لتنشيط وتسريع عملية التخمير (العفيف و أمون، 2008). في هذا البحث جرى استعمال وسط التخمير الناتج من عملية تخمير لاهوائي لروث الأبقار، وجمع من وحدات التخمير في مختبرات كلية الزراعة – جامعة حماه، في نهاية زمن التخمير اللاهوائي حيث يكون النشاط الجرثومي في أدنى حدوده، وتم حفظه في ظروف لاهوائية وذلك بحسب الدليل (VDI4630, 2006).

• مخطط التجربة:

لتحديد أثر تغيير درجات الحرارة في إنتاج الغاز الحيوي تم تصميم التجربة كما هو مبين في الجدول (1)

الجدول (1): العينات وكمياتها التجريبية

المعاملات	درجة الحرارة الثابتة 37 °C	درجة الحرارة المتغيرة
مخلفات الفول (BW) غرام/مادة عضوية	8	8
وسط التخمير/غرام	800	800

تم إجراء التحاليل الكيميائية لعينات مخلفات الفول ووسط التخمير والتي شملت تحري المادة الجافة والمادة العضوية في المادة الجافة والبروتين الخام والألياف الخام والدهن الخام والنشاء والسكر والرماد، ويبين الجدول (2) القيم المقاسة لهذه المواد.

الجدول (2) نتائج التحاليل التي أجريت على عينات مخلفات الفول (القشرة الخارجية لقرن الفول) ووسط التخمير قبل بدء التجارب

نوع التحليل	مخلفات الفول	وسط التخمير
المادة الجافة %	52.2	3
المادة العضوية في المادة الجافة %	93.4	66
البروتين الخام % DM	29.1	غ.م
الليف الخام % DM	17.3	غ.م
دهن خام % DM	1.9	غ.م
نشاء % DM	46.4	غ.م
سكر % DM	3.2	غ.م
رماد %	2.1	غ.م
غ.م: غير مقاس، DM: مادة جافة		

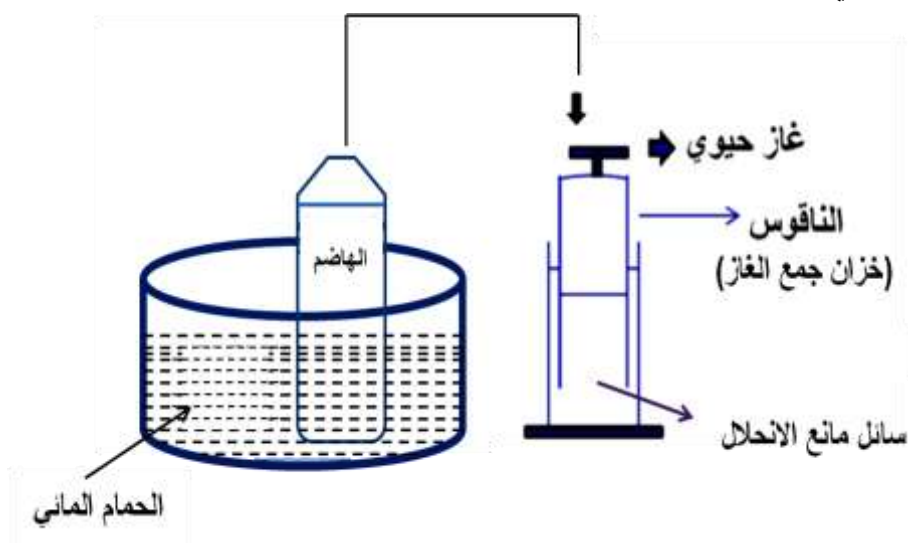
• اختبارات الهضم اللاهوائي:

أجريت تجارب التحري عن الإنتاج الأعظمي للغاز الحيوي من مخلفات الفول، في مخابر كلية الزراعة - جامعة حماه، وذلك في وحدة تخمير لاهوائية.

تتألف وحدة التخمر من أربعة مخمرات سعة 1 لتر، تم تزويد كل مخمر بفتحة تغذية علوية يتم من خلالها إضافة مواد التجربة ويمكن إغلاقها بشكل محكم لمنع حدوث تسريب للغاز الناتج والحفاظ على الظروف اللاهوائية وذلك باستخدام موانع تسريب خاصة (جوانات). توضع المخمرات ضمن حمام مائي مزود بترموستات للتحكم بدرجة الحرارة المطلوبة بدرجة حرارة 37°C ولمدة 30 يوماً، حيث تم إنهاء الاختبارات عندما أصبح إنتاج الغاز الحيوي اليومي يساوي أو أقل من 1% من إنتاج الغاز الحيوي التراكمي (Habashi et al, 2016).

ولمحاكاة الواقع بشكل كامل، ودراسة أثر درجات الحرارة المتغيرة، تم الاستغناء عن الحمام المائي وإخضاع المخمرات لظروف درجات حرارة الجو المحيط في الفترة الممتدة من 29 كانون الثاني وحتى 28 شباط حيث تراوح معدل درجات الحرارة اليومية في تلك الفترة بين 7°C و 13°C (المحطة المناخية في مدينة السلمية، 2024)، وهي الفترة التي يتم فيها حصاد محصول الفول والحصول على المخلفات.

تم إضافة العينات دفعة واحدة، وجمع الغاز الحيوي المنطلق في خزانات جمع الغاز المملوءة بسائل مانع للانحلال بدلاً من الماء والذي يتكون من حمض كبريت مركز وكبريتات الصوديوم وبرتقالي الميثيل، وذلك بهدف منع انحلال غاز ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغاز الحيوي من أجل حساب نسبته بدقة في حال تم تحليل مكونات الغاز الحيوي المنطلق. وتم تحديد حجم الغاز الحيوي الناتج من حساب ارتفاع الناقوس عند تدفق الغاز الحيوي إلى الخزان كما هو مبين في الشكل (1). تم إجراء ثلاث مكررات لمعاملات التجارب، وقيس حجم الغاز الحيوي الناتج من وسط التخمر بشكل مستقل، وطُرحت كميته من كمية الغاز الحيوي الناتج من تخمر العينة مع وسط التخمر، وذلك للوقوف على الكمية الفعلية للغاز الحيوي الناتج من العينة (Bayr et al, 2012). جرى تحريك العينات داخل الهاضم يدوياً عن طريق رج الهاضم يومياً (Lattef et al, 2014). تم قياس حجم الغاز الحيوي الناتج يومياً، وقيس في الشرطيين النظاميين من الحرارة 273 K ، والضغط 1013 ميلي بار. قيس حجم الغاز الحيوي في لتر نظامي لكل كيلو غرام من المادة العضوية في ظروف لاهوائية (LN/Kg VS) (AL Afif and Pfeifer, 2021)، (VDI4630, 2006).



الشكل (1): وحدة التخمر اللاهوائية المخبرية المستخدمة في التجربة

يبين الشكل (2) صورة فتوغرافية لوحدة التخمر اللاهوائية المستخدمة في التجربة بكافة مكوناتها.



الشكل (2): وحدة التخمر اللاهوائية المخبرية المستخدمة في التجربة

يبين الشكل (3) صورة فوتوغرافية لإحدى وحدات جمع الغاز المستخدمة في التجربة بكافة مكوناتها.

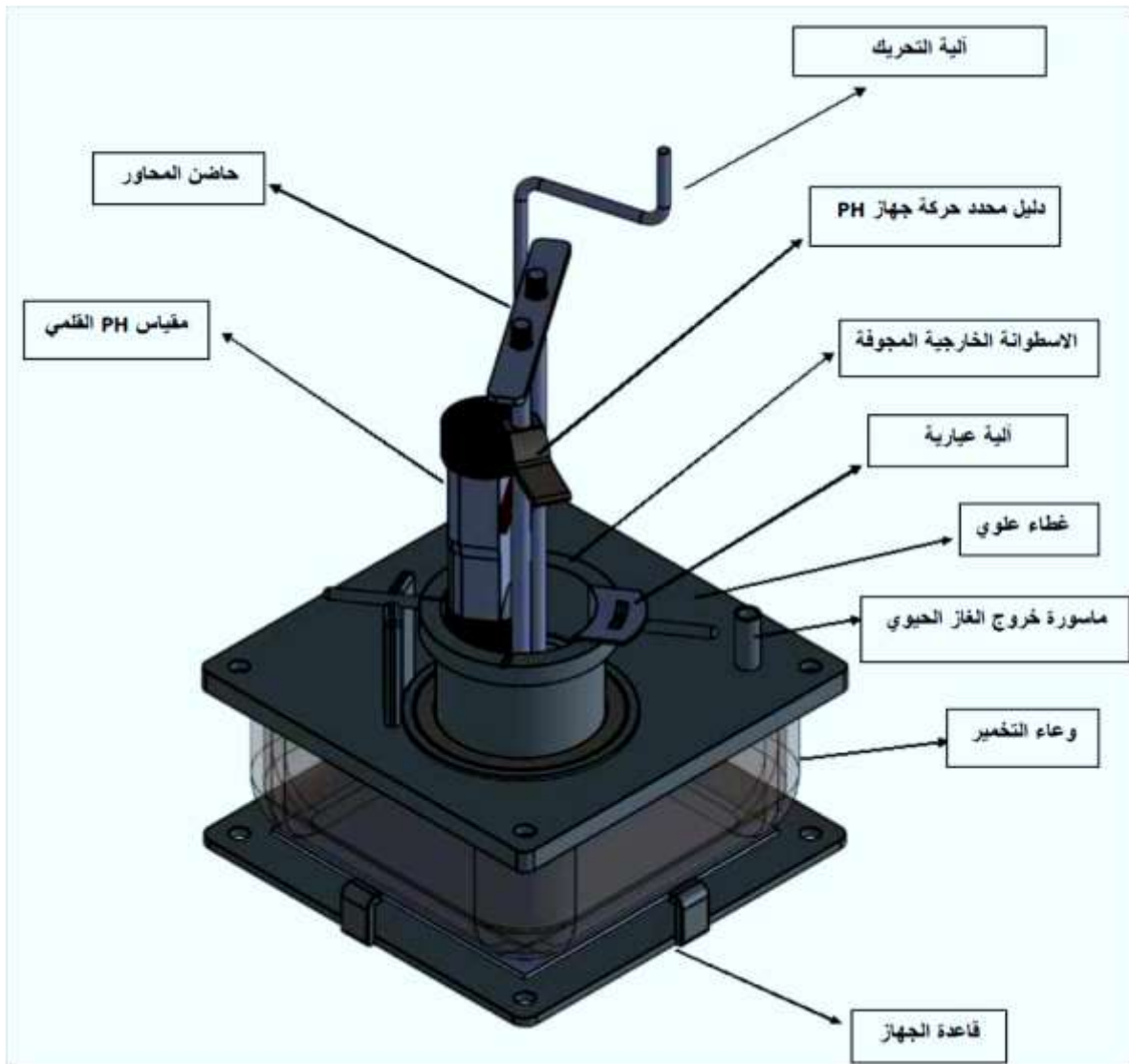


الشكل (3): وحدة جمع الغاز المستخدمة في التجربة

• قياس درجة الحموضة PH:

من أجل قياس درجة الحموضة PH بشكل يومي، تم تصنيع جهاز مخبري معد لهذا الغرض (مخمر لاهوائي مخبري معد لقياس درجة الحموضة PH)، مجهز بألية ميكانيكية يدوية تسمح بدخول جهاز قياس PH القلمي وخروجه، بهدف قياس درجة الحموضة لوسط التخمر وبشكل يومي دون السماح بتبادل الغازات مع الوسط الخارجي كما هو مبين في الشكل (4).

صُمم الجهاز من قبل الباحث، وحصل على براءة اختراع رقم /6115/ بتاريخ 2020/6/7.



الشكل (4): المخمر اللاهوائي المخبري المعد لقياس درجة الحموضة PH المستخدم في التجربة

• التحليل الإحصائي:

تم تصميم التجربة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة، حيث تم إجراء اختبار T لعينتين مستقلتين، عند مستوى ثقة 95%.

النتائج والمناقشة:

– تأثير درجة الحرارة المتغيرة:

يبين الجدول (3) حجم الغاز الحيوي الناتج عن التخمر اللاهوائي لمخلفات الفول في ظروف درجة الحرارة الثابتة والمتغيرة، والانحراف المعياري لثلاثة مكررات. وقد تراوح حجم الغاز الحيوي الناتج عن التخمر لمدة 30 يوماً عند درجة الحرارة الثابتة والمتغيرة LN/Kg VS (262، 98) على التوالي.

دلت الدراسة الإحصائية على وجود فرق معنوي في كمية الغاز الحيوي الناتج من التخمر اللاهوائي لمخلفات الفول عند درجة الحرارة الثابتة مقارنة مع التخمر اللاهوائي عند درجة الحرارة المتغيرة. تم الاختبار عند مستوى ثقة 95%. كانت كمية الغاز الحيوي الناتجة عن التخمر اللاهوائي في ظروف درجة الحرارة الثابتة أعلى بنسبة 167.3 %، وهذا يتوافق مع ما ورد في الدراسات المرجعية، حيث

ازداد إنتاج الغاز الحيوي من التخمر اللاهوائي لروث الماشية عند ظروف درجة الحرارة الثابتة 32 °C بنسبة وصلت إلى 45.2 % وذلك مقارنة مع التخمر اللاهوائي ضمن ظروف درجة الحرارة المتغيرة (الجو المحيط)، حيث تغيرت درجات الحرارة في المجال بين (19-32) °C (Alvarez and Liden, 2008a). قد يعود سبب ذلك إلى الانخفاض في درجات الحرارة والذي من شأنه أنه يبطئ نشاط الكائنات الحية الدقيقة بشكل كبير ويؤثر على كفاءة عملية التخمر اللاهوائي، لقد أشار Speece (1996)، إلى أن بكتريا الميثان (methanogenic bacteria) حساسة للتغيرات في درجات الحرارة مقارنة بالأنواع البكتيرية الأخرى المشاركة في عملية التخمر اللاهوائي، على سبيل المثال بكتريا التخمير (acidogenic bacteria)، حيث وعند هكذا ظروف - التقلبات في درجات الحرارة - فإن معدل تحويل بكتريا الميثان للأحماض الدهنية إلى ميثان قد ينخفض أكثر من معدل إنتاج بكتريا التخمير لهذه الحموض، حيث أن معدل نمو ونشاط البكتريا المنتجة للأحماض يتأثر بشكل أقل من البكتريا المنتجة للميثان عند التغير في درجة الحرارة، وبالتالي يحدث عدم توازن مؤقت في عمل هذه الكائنات الحية مما يؤدي إلى عرقلة عملية التخمر اللاهوائي وانخفاض في إنتاج الغاز الحيوي (Choorit and Wisarnwan, 2007). أجريت دراسة لمقارنة أداء عملية التخمر اللاهوائي لمخلفات الطعام (الفاكهة والخضروات)، في ظروف درجات الحرارة العالية 55 °C و المعتدلة 35 °C والمنخفضة 20 °C، بينت النتائج زيادة في إنتاج الغاز الحيوي عند درجات الحرارة المرتفعة بمعدل 41% و 144% مقارنة بإنتاجه عند درجات الحرارة المعتدلة والمنخفضة على التوالي (Bouallagui et al, 2004).

تشير الأبحاث في هذا المجال إلى أنه عند التخمر اللاهوائي في ظروف درجة الحرارة المتغيرة (الجو المحيط)، فإن المخمر يتوقف تقريباً عن إنتاج الغاز الحيوي خلال فترات انخفاض درجات الحرارة، ولكن خلال فترات ارتفاع درجات الحرارة يصبح إنتاج الغاز الحيوي عالياً بشكل غير متوقع (Alvarez and Liden, 2009). وفي سياق متصل سببت التغيرات في درجات الحرارة تغيرات كبيرة في معدل إنتاج الغاز الحيوي، حيث تم الحصول على نسبة تراوحت بين (94-97)% من الغاز الحيوي الناتج بشكل يومي، خلال 12 ساعة من درجات الحرارة المرتفعة، وذلك عند التخمر اللاهوائي لمخلفات الماشية ضمن ظروف درجة الحرارة المتغيرة (الجو المحيط) (Alvarez and Lidena, 2008a).

الجدول (3): الغاز الحيوي من التخمر اللاهوائي لمخلفات الفول ضمن ظروف درجة الحرارة الثابتة والمتغيرة لثلاثة تكرارات.

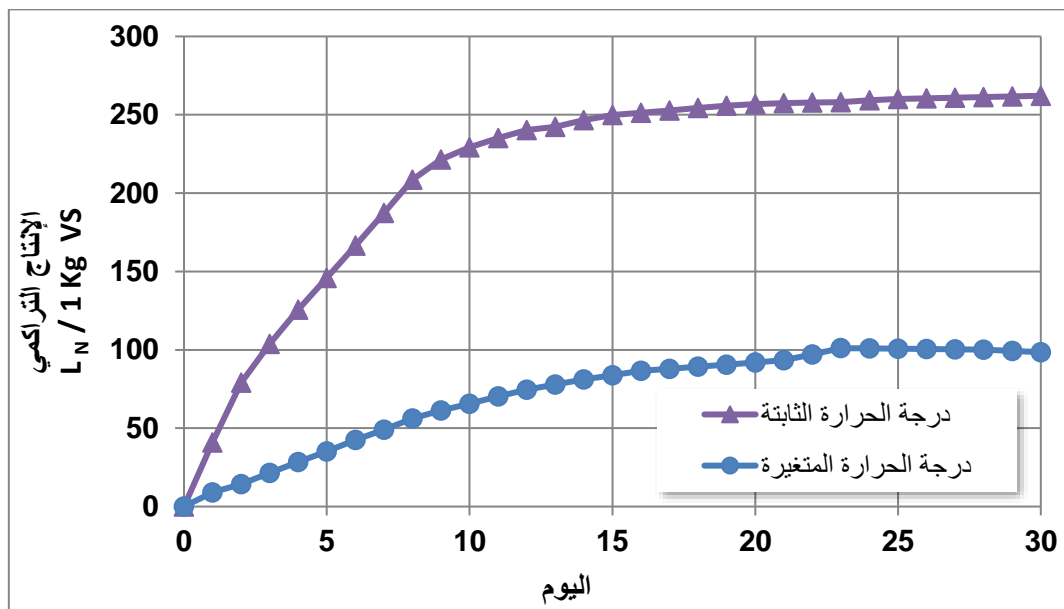
LN/Kg VS ناتج الغاز الحيوي عند درجة الحرارة المتغيرة		LN/Kg VS ناتج الغاز الحيوي عند درجة الحرارة الثابتة 37 °C		العينة
D.S	المتوسط	D.S	المتوسط	مخلفات الفول BW
10	98	9	262	

D.S = الانحراف المعياري

- فعالية الهضم اللاهوائي لمخلفات الفول:

بعد وضع عينات مخلفات الفول ووسط التخمر في وحدات التخمر المخبرية، بدأ إنتاج الغاز الحيوي منذ اليوم الأول. يبين الشكل (5) المنحنيات التراكمية لإنتاج الغاز الحيوي من مخلفات الفول ضمن ظروف درجة الحرارة الثابتة والمتغيرة. أعطت التجربة معدلاً جيداً للغاز الحيوي من مخلفات الفول، و يعود السبب إلى احتواء هذه المخلفات على الكربوهيدرات سريعة الهضم (النشاء 46.4% DM) (الجدول 2)، وهذا يتوافق مع دراسة أجراها Hartmann (2002)، إذ أن المخلفات العضوية ذات المحتوى العالي من الكربوهيدرات و التي لها قدرة عالية على التحطيم البيولوجي تعطي معدلات عالية من إنتاج الغاز الحيوي.

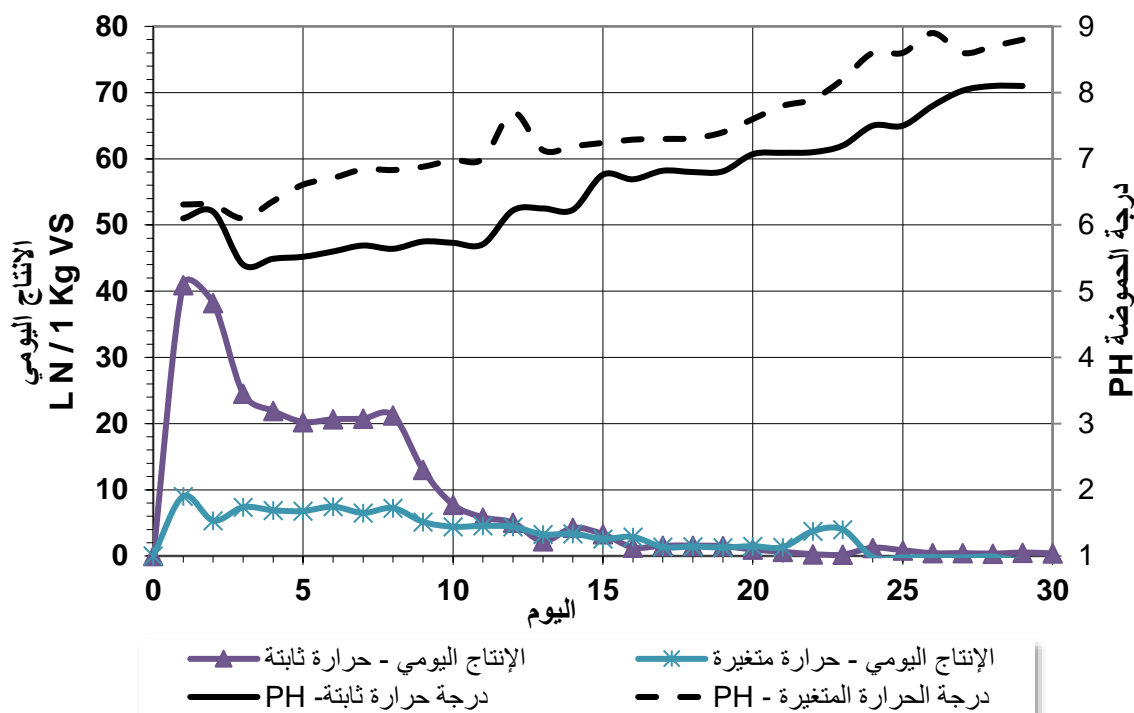
يعد توصيف المخلفات العضوية وتحليلها أحد أهم الخطوات في عملية التخمير اللاهوائي، إذ إن مكونات هذه المخلفات (الركائز) أمر ضروري لتقدير كمية وتكوين الغاز الحيوي الناتج، وكذلك كمية الطاقة الموجودة فيه (Awe et al; 2019). المحتوى المرتفع من المادة العضوية في مخلفات الفول (DM %93.4) والنسبة الأكبر منها والتي كانت في صورة نشاء، كما هو مبين في الجدول 2، هو أيضاً أحد أسباب الإنتاج الجيد للغاز الحيوي من هذه المخلفات، خصوصاً عند درجة الحرارة الثابتة.



الشكل (5): المنحنيات التراكمية لإنتاج الغاز الحيوي من مخلفات الفول ضمن ظروف درجة الحرارة الثابتة والمتغيرة

– إنتاج الغاز الحيوي اليومي:

تبين المنحنيات في الشكل 6 الإنتاج اليومي من الغاز الحيوي الناتج من التخمير اللاهوائي لمخلفات الفول إضافة إلى قيم درجة الحموضة PH المُقاسة يومياً، وذلك لكل معاملة على حدى ضمن ظروف درجة الحرارة الثابتة والمتغيرة. يلاحظ من هذا الشكل أن إنتاج الغاز الحيوي قد بدأ منذ اليوم الأول من عملية التخمير اللاهوائي، وقد بلغ أعلى قيم له خلال الثمانية أيام الأولى بمتوسط بلغ حوالي (7.1 – 26.02) LN/Kg VS يومياً، وقد سجلت أعلى قيم له في اليوم الأول والتي بلغت (40.9 – 9) LN/Kg VS، وذلك للتخمير اللاهوائي لمخلفات الفول ضمن ظروف درجة الحرارة الثابتة والمتغيرة على التوالي. يُلاحظ من الشكل 6، انخفاض معدل إنتاج الغاز الحيوي اليومي في جميع المعاملات ابتداءً من اليوم التاسع وحتى نهاية العملية بشكل ملحوظ، وكان الإنتاج في هذه الفترة بمعدل حوالي (1.9 – 2.4) LN/Kg VS يومياً، وذلك للتخمير اللاهوائي لمخلفات الفول ضمن ظروف درجة الحرارة الثابتة والمتغيرة على التوالي. إن زيادة الإنتاج خلال الثمانية الأولى من عملية التخمير اللاهوائي يعود سببه إلى هضم معظم مكونات المادة العضوية في تلك الفترة، لقد أشار Bee وزملاءه (2013)، إلى أن زيادة الإنتاج خلال الفترة الأولى من عملية التخمير والذي يتبع انخفاض ملحوظ يعود سببه إلى تحلل أكبر كمية من المادة العضوية وخاصة الكربوهيدرات.



الشكل (6): الإنتاج اليومي من الغاز الحيوي الناتج من التخمر اللاهوائي لمخلفات الفول إضافة إلى قيم درجة الحموضة pH

يبين الشكل 6 قيم درجة الحموضة PH المقاسة يومياً خلال عملية التخمر اللاهوائي لمخلفات الفول عند درجة الحرارة الثابتة والمتغيرة، والتي تراوحت بين (5.4 – 8.1)، (6.1 – 8.8) على التوالي. وهذا يتوافق مع ما توصل إليه Wang وزملاءه 2013 في تجربة للتخمر اللاهوائي المشترك للحماة ومخلفات الطعام، حيث تراوحت قيم درجة الحموضة بين (6.3 – 8.2) أشار الباحثون إلى أن هذه القيم هي ضمن النطاق الآمن لعملية التخمر اللاهوائي. وفي تجربة قام بها Cuertos وزملاءه (2008) للتخمر اللاهوائي لمخلفات البلدية الصلبة، تراوحت قيم درجة الحموضة بين (6.4 – 8). وكانت قيم درجة الحموضة تتراوح بين (6.8 – 7.6) وذلك في تجربة قام بها Rintala و Salminen (2002) للتخمر اللاهوائي لمخلفات مسالخ الدواجن. إن قيم درجة الحموضة المقاسة يومياً، والتي تم الحصول عليها في هذه التجربة تعتبر ضمن القيم المثالية لعمل بكتريا الميثان وإنتاج الغاز الحيوي (Al Afif and Linke, 2019).

هناك علاقة بين درجة الحموضة PH والتأثير المثبط للأمونيا (NH_3)، والذي تم توثيقه في عدد من الدراسات المرجعية، حيث أشار Bjornsson وآخرون (2000)، إلى وجود علاقة بين تفكك البروتينات وتشكل الأمونيا وبين قيمة PH، وذكر Alvarez و Liden (2008b) أن "التراكيز المثبطة للأمونيا تختلف باختلاف PH"، وأكد كلاً من Bayr (2014) و Salama وزملاءه (2019) على ارتفاع سمية الأمونيا بزيادة PH. وتجدر الإشارة هنا إلى أن الأمونيا توجد في شكلين عند التخمر اللاهوائي: الأمونيوم أو أيونات الامونيوم (NH_4^+)، وغاز الأمونيا أو الأمونيا الحرة (NH_3) (Bayr et al, 2012)، وتعتبر الأمونيا الحرة أكثر تثبيطاً من الامونيوم (Angelidaki and Ahring, 1994)، والسبب هو قدرتها على الدخول أو الانتشار بسهولة عبر غشاء الخلية البكتيرية (Kadam and Boone, 1996). وفي سياق متصل أشار Alvarez و Liden (2008b) إلى أن احتمال تثبيط البكتريا المنتجة للميثان methanogenic bacteria بالأمونيا (NH_3)، هو أمر وارد في جميع أوساط التخمر اللاهوائي التي تحتوي على كمية عالية من البروتين.

نلاحظ من الشكل 6 أن قيم درجة الحموضة PH المقاسة يومياً خلال عملية التخمر اللاهوائي لمخلفات الفول عند درجة الحرارة المتغيرة كانت أعلى بالمقارنة مع قيمها عند درجة الحرارة الثابتة. وعند الأخذ بعين الاعتبار تركيز البروتين العالي في مخلفات الفول (29.1 % DM) (الجدول 2)، والقلوية التي تكمن خلف تحطم هذه البروتينات، يمكن بالاستناد إلى ما توصل إليه Mara و Horan (2003) بأنه عند القيم المعتدلة لدرجة الحموضة PH (حوالي 7) فإن 99% من الأمونيا الكلية المتشكلة تكون على شكل أمونيوم (NH_4^+) ذات الأثر السمي القليل على البكتريا اللاهوائية مقارنة بالأمونيا الحرة (NH_3)، حيث أن قيم PH المعتدلة يجعل التوازن يميل نحو تشكل (NH_4^+)، وزيادته يحرفها نحو تشكل (NH_3) ذات السمية العالية، ويعطى التوازن بين الأمونيوم والأمونيا الحرة بالمعادلة التالية:



وبناءً عليه، فإن لقيم لدرجة الحموضة المرتفعة أثناء عملية التخمر اللاهوائي عند ظروف درجة الحرارة المتغيرة (الجو المحيط)، أثر هام لزيادة سمية الأمونيا، وبالتالي ساهم ذلك أيضاً - بالإضافة إلى التقلبات في درجات الحرارة - في زيادة إنتاج الغاز الحيوي عند درجات الحرارة الثابتة بالمقارنة مع المتغيرة.

الاستنتاجات:

تعتبر مخلفات الفول مادة جيدة لإنتاج الغاز الحيوي. ويتبين من نتائج هذا البحث إمكانية الحصول على نتائج إيجابية للتخمر اللاهوائي ضمن ظروف درجة الحرارة الثابتة والمتغيرة.

بدأ إنتاج الغاز الحيوي منذ اليوم الأول من عملية التخمر اللاهوائي، وقد بلغ أعلى قيم له خلال الثمانية أيام الأولى بمتوسط بلغ حوالي (7.1 - 26.02) LN/Kg VS يومياً، وذلك ضمن ظروف درجة الحرارة الثابتة والمتغيرة على التوالي. تم قياس قيم درجة الحموضة PH بشكل يومي خلال عملية التخمر اللاهوائي لمخلفات الفول عند درجة الحرارة الثابتة والمتغيرة، والتي تراوحت بين (5.4 - 8.1)، (6.1 - 8.8) على التوالي. وأظهرت النتائج أن ارتفاع قيم درجة الحموضة أثناء عملية التخمر اللاهوائي عند ظروف درجة الحرارة المتغيرة، كان له أثر هام في زيادة سمية الأمونيا الناتجة عن تفكك البروتينات.

المراجع:

- العفيف، رأفت. وأمون، توماس. (2008). إنتاج الغاز الحيوي من تقل الزيتون ومخلفات المواشي - دراسة تأثير التخمر المشترك وإضافة الأنزيمات في إنتاجية الميثان - مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية المجلد (24) - العدد 2 - (103 - 121). المجموعة الإحصائية الزراعية السورية، وزارة الزراعة، (2014).
- Ahn, H.J., Forster, F.C., (2002). The effect of temperature variations on the performance of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating a simulated papermill wastewater. *Process Biochemistry*, 37: 589-594.
- Al Afif, R and Linke, B., (2019). Biogas production from three-phase olive mill solid waste in lab-scale continuously stirred tank reactor. *Science Direct, Energy*, 171: 1046-1052.
- AL Afif, R and Pfeifer, C., (2021). Enhancement of methane yield from cotton stalks by mechanical pre-treatment. *Science Direct. Carbon Resources Conversion*, 4: 164-168.
- AL Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Kottner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R., (2008). biogas HANDBOOK. University of Southern Denmark Esbjerg. Denmark. 125pp.
- Alvarez, R., Liden, G., (2008a). The effect of temperature variation on biomethanation at high altitude. *Bioresour. Technol.*, 99: 7278-7284.

- Alvarez, R and Liden, G., (2008b). Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. *Science Direct. Renewable Energy*, 33: 726–734.
- Alvarez R. and Lidén G., (2009). Low temperature anaerobic digestion of mixtures of llama, cow and sheep manure improved methane production. *Biomass Bioenergy* 33: 527–533.
- Angelidaki, I and Ahring, B.K., (1994). Anaerobic thermophilic digestion of manure at different ammonia loads: effect of temperature, *Water Res.* 28: 727 731.
- Awe, W.O., Liu, R., Zhao, Y., (2019). Optimising biogas production through codigestion of sewage sludge with food waste and FOG. *Journal of Environment and Biotechnology Research*, Vol. 8, No. 3, 38-51.
- Bayr, S., (2014). Biogas Production from Meat and Pulp and Paper Industry By-Products. Academic dissertation, Department of Biological and Environmental Science, University of Jyväskylä, Finland.
- Bayr, S., Rantanen, M., Kaparaju, P., Rintala, J., (2012). Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of rendering plant and slaughterhouse wastes. *Science Direct. Bioresource Technology*, 104: 28–36.
- Bee, T.S., Nithiyaa, M., Sin, L.T., Tee, T.T and Rahmat, A.R., (2013). Investigation of biogas production and its residue with fertilization effect from municipal waste. *Pakistan Journal of Biological Science*. 16(20): 1104-11 12.
- Berglund, M., (2006). Biogas Production from a System Analytical Perspective. doctoral dissertation, Lund university, Faculty of Engineering, Department of Technology and Society, Environmental and Energy Systems Studies, Sweden. pp: 59.
- Bjornsson, L., Mutro, M., Mattiasson, B., (2000). Evaluation of parameters for monitoring an anaerobic co-digestion process. *Appl Microbiol Biotechnol*, 54: 844-849.
- Bouallagui, H., Haouari, O., Touhami, y., Cheikh, R. B., Marouani, L., and Hamdi, M., (2004). Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste. *Process Biochemistry*, 39: 2143-2148.
- Carucci, C., Carrasco, F., Trifoni, K., Majone, M., Beccari, M., (2005). Anaerobic Digestion of Food Industry Wastes: Effect of Codigestion on Methane Yield. *Journal of Environmental Engineering* © ASCE / july 2005 / 1037-1045.
- Chayovan, S., Gerrish, B.J., Eastman, A.J., (1988). Biogas Production from Dairy Manure: The Effects of Temperature Perturbations. *Biological Wastes*, 25: 1-16.
- Choorit, W and Wisarnwan P., (2007). Effect of temperature on the anaerobic digestion of palm oil mill effluent. *Electronic Journal of Biotechnology*. 10(3): 377-384.
- Cuetos, J.M., a, Gomeza, X., Otero, M., Moran, A., (2008). Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: Influence of co digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). *Biochemical Engineering Journal*, 40: 99–106.
- Dubrovskis, V., Plume, I., Straume., (2019). ANAEROBIC DIGESTION OF BROAD BEANS, MAIZE SILAGE AND ZEPHYR. 27th European Biomass Conference and Exhibition, 27-30 May 2019, Lisbon, Portugal.
- Habashi, N., Mehrdadi, N., Mennerich, A., Alighardashi, A., Torabian, A., (2016). Hydrodynamic cavitation as a novel approach for pretreatment of oily wastewater for anaerobic co-digestion with waste activated sludge. *Science Direct, Ultrasonics Sonochemistry*, 31: 362–370.
- Hartmann, H., (2002). Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste with recirculation of process water. PhD. Thesis, Technical University of Denmark.
- Kadam, P.C and Boone, D.R., (1996). Influence of pH on ammonia accumulation and toxicity in halophilic, methyltrophic methanogens. *Appl. Environ. Microbiol*, 62: 4486–4492.

- Lattef and others, (2014). Batch anaerobic co-digestion of cow manure and waste milk in tow stage process for hydrogen and methane productions. *Bioprocess Biosyst Engineering*, 37(3): 355-363.
- Mara, D., and Horan, N., (2003). Handbook of water and wastewater microbiology. 1st edition, Elsevier. London. pp: 832.
- Masse , D.I., Masse, L., Croteau, F., (2003). The effect of temperature fluctuation on psychrophilic anaerobic sequencing batch reactor treating swine manure. *Bioresource Technology*, 89: 57–62.
- Mattocks,R. (2002). Understanding biogas. Countryside and small stock journal,pg 34. <https://flipster.ebsco.com/magazine/countryside-small-stock-journal>
- Palmowski, L.M., and Müller, J.A., (2000). Influence of the size reduction of organic waste on their anaerobic digestion. *Water science and technology*, 41(3):155-62.
- Salama, EI-S., Saha, S., Kurade, B.M., Dev, S., Chang, W.S., Jeon, H.B., (2019). Recent trends in anaerobic co-digestion: Fat, oil, and grease (FOG) for enhanced biomethanation. *Science Direct, Progress in Energy and Combustion Science*, 70: 22–42.
- Salminen, A.E and Rintala, A.J., (2002). Semi-continuous anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse waste: effect of hydraulic retention time and loading. *Water Research*, 36: 3175–3182.
- Speece R.E., (1996). Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters. Nashville, Tennessee, Archae Press, 1996. 416 p. ISBN 0-965-02260-9.
- VDI4630, (2006). Fermentation of organic materials . Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data , fermentation tests. VDI Richtlinien 4630. Düsseldorf, 200.
- Wang, L., NAziz, N.T., Reyes, L.F., (2013). Determining the limits of anaerobic co-digestion of thickened waste activated sludge with grease interceptor waste. *Science Direct. Water research*, 47: 3835-3844.
- Xie, S., (2012). Evaluation of biogas production from Anaerobic digestion of pig manure and grass silage. doctoral dissertation. National University of Ireland, Civil Engineering, Ireland.

Influence of variable temperature (ambient temperature) on anaerobic digestion of broad beans wastes

Daoud Malouk^{*(1)}

(1). Member of the educational technical body (officer-in-charge), Ministry of Higher Education - University of Hama - College of Agriculture. Hama – Salmeah. (*Corresponding author: Daoud Malouk, email: dawod_81@hotmail.com, Phone: 0338811109, Mobile: 0992765291).

Received: 5/8/2024

Accepted: 26/1/2025

Abstract

The aim of this work is to investigate the influence of variable temperature (ambient temperature) on anaerobic digestion and biogas production of broad beans wastes (BW). The experiment tests have been carried out at two factors which are constant temperature of 37 C°, and the others is of variable temperature in the range of (7 – 13 C°). A set of lab anaerobic digesters of 1 litter has been used to execute the experimental work, which has a period of 30 days. The produced biogas under constant temperature condition was 262 LN/Kg VS which is 167.3% more than that produced under variation temperature condition which was 98 LN / Kg VS. The pH of the anaerobic digestion process was measured daily using a specially designed laboratory device. The measured pH values were suitable for the anaerobic digestion process and ranged between (5.4 - 8.8). The high organic matter content of BW and the richness of this residues in carbohydrates, make it a good material to product biogas.

Keyword: Biogas, Anaerobic digestion, variable temperature, broad beans wastes.