تأثير المعالجة الأولية الميكانيكية لفرشة الدواجن في إنتاجية الغاز الحيوي

نضال الشبلي[1] ورأفت العفيف[2] وصقر الغضبان[3]

الملخَّص

تعَد فرشة الدواجن أحد المخلفات العضوية في سورية، التي يمكن أن تكون مصدراً للطاقة النظيفة إذا ما عولجت علاجاً غير هوائي. وقد هدف هذا البحث إلى تحري تأثير المعالجة الأولية الميكانيكية لفرشة الدواجن في إنتاج الغاز الحيوي والميثان. أجريت التجارب في وحدات تخمير مخبرية على عينات مطحونة موزعة على أجزاء بأقطار 1مم، و3مم، و10مم، ضمن درجة حرارة 37 °س ولمدة 42 يوماً ومقارنتها مع عينات غير معالجة ميكانيكياً.

أظهرت النتائج أن المعالجة الميكانيكية لعينات فرشة الدواجن بتصغير حجمها إلى جزيئات بأقطار 1مم، و3مم، و10مم، أدت إلى زيادة معنوية في إنتاج الغاز الحيوي والميثان مقارنة بعينات الشاهد غير المعالجة، فقد بلغ إنتاج الغاز الحيوي منها 244.98 $l_N\ kg^{-1}$ OTS، وإنتاج الميثان 116.77 $l_N\ kg^{-1}$ OTS. وبينت النتائج أن المعالجة الأولية الميكانيكية للعينات بطحنها إلى أجزاء بأقطار 1مم هي أفضل طرائق المعالجة المختبرة، إذ بلغ إنتاج الغاز الحيوي 469.73 $l_N\ kg^{-1}$ OTS، وأدت إلى زيادة في إنتاج الميثان بنسبة 96.6% مقارنة بالعينات غير المعالجة.

الكلمات المفتاحية: الهضم اللاهوائي، المعالجة الأولية الميكانيكية، الميثان، فرشة الدواجن، الغاز الحيوي، الكتلة الحيوية، الكتلة الحيوية الزراعية.

[1] طالب ماجستير، [2] أستاذ مساعد، قسم الهندسة الريفية، كلية الزراعة، ص. ب.30621، جامعة دمشق، سورية.
[3] أستاذ مساعد، كلية الزراعة الثانية، جامعة دمشق، سورية.

The effect of mechanical pretreatment of poultry litter in the productivity of biogas

Al Sheibli, N.[(1)], R. Al Afif [(2)] and S. Al Ghadban[(3)]

Abstract

Poultry litter is an organic waste in Syria which can be a source of clean energy if treated anaerobically. This research aimed to investigate the effect of mechanical pretreatment of poultry litter in producing biogas and methane. Experiments were performed in units of fermentation laboratory on samples ground spread over parts diameters 1 mm, 3 mm, and 10 mm at at 37°C temperature, for a period of 42 days and compared with untreated samples mechanically.

The results showed that mechanical pretreatment on poultry litter substrates by reducing their size to 1mm, 3mm and 10 mm diameter pieces led to a significant increase in the production of biogas and methane compared with untreated substrates which amounted to produce 244.98 l_N kg^{-1} OTS biogas and 116.77 l_N kg^{-1} OTS of methane. The results also showed that mechanical pretreatment by grounding the substrates into 1mm diameter pieces was the best mechanical method of treatments resulted with total production of biogas 469.73 l_N kg^{-1} OTS and led to increase producing of methane by 96.6% compared to untreated substrates.

Keywords: Poultry litter, Anaerobic digestion, Mechanical pretreatment, Methane production.

[(1)] Master student, [(2)] Associate Prof. Dep. Rural Eng., Fac. Agric., Damascus Univ.
[(3)]Associate Prof., Agric. Fac., Damascus Univ., Branch of Swieda.

المقدمة

تشير الإحصاءات السنوية لوزارة الزراعة إلى أن عدد الدجاج الكلي وصل في سورية إلى نحو 26203000 طير (المجموعة الإحصائية الزراعية، 2011). ويشكل عدد الطيور المنتجة للحم ما يقارب 35% من العدد الإجمالي الذي ينتج عن تربيته مخلفات عضوية تدعى الفرشة (مكونة من زرق الدجاج ونشارة الخشب) تقدر كميتها بـ 199.071 ألف طن سنوياً (علي وزملاؤه، 2011). ويمكن الاستفادة من هذا النوع من المخلفات بتخميرها لاهوائياً لإنتاج الغاز الحيوي. ويستخدم السماد العضوي المخمر الناتج في الزراعة.

وتحوي هذه المخلفات كميات كبيرة من نشارة الخشب تعمل على إعاقة عملية التخمر اللاهوائي، إذ تعتبر المواد اللغنوسيللوزية من المواد المقاومة للهضم اللاهوائي نتيجة لتركيبها وبنائها، فهي تدخل في ترسبات الجدر الخلوية التي تجتمع فيها ألياف السيللوز الطويلة مع بعضها لتشكل حزماً متوازية من السيللوز، وتغلف هذه الحزم بجزيئات الهيمسيللوز لتشكل ما يعرف بالشعيرات الدقيقة. ويتوضع الليغنين في كامل الجدار الخلوي بين الشعيرات الدقيقة وضمنها (حميد، 2006). وهذا الترابط الجزيئي الصغير جداً بين السيللوز والهيمسيللوز والليغنين يجعلها مقاومة لتأثير البكتريا المفككة Bruni وزملاؤه، 2010).

وتعتبر المعالجة الأولية الميكانيكية خطوة هامة وعملية للتحول الكيميائي والحيوي لكتلة اللغنوسيللوز العضوية، وتعمل على زيادة سطوح المادة العضوية التي يمكن للكائنات الحية المجهرية مهاجمتها مما يؤدي إلى زيادة نشاطها الميكروبي، وبالتالي زيادة التحلل البيولوجي وإنتاج الغاز حسب ما أورده Zhong وزملاؤه (2011)، وHendriks وزملاؤه (2009). كما تقلل من درجة التبلور لألياف السيللوز مما يزيد من فاعلية هضم المواد اللغنوسيللوزية (Fan وزملاؤه، 1980). كما أوضحت دراسات عديدة أن المعالجة الأولية الميكانيكية تزيد كمية الميثان من اللغنوسيللوز بما يزيد على 25% (Bruni وزملاؤه، 2010). وبيّن Menind وNormak (2010) بأن إنتاج الغاز الحيوي بلغ نحو 520 $\mathbf{l_N\ kg^{-1}\ OTS}$ عند تخفيض حجم الألياف اللغنوسيللوزية إلى جزيئات بحجوم 0.5 مم مع وجود فروق معنوية مقارنة بالشاهد على مستوى دلالة 5%.

وقد وجد Ghosh وزملاؤه (2000) في دراسة لمعالجة النفايات الصلبة أن المعالجة الأولية الميكانيكية بتخفيض حجم الجزيئات من 2.2 إلى 1.1 مم كان لها تأثير إيجابي على التخمر اللاهوائي في درجات الحرارة المتوسطة.

وأوضح العفيف (2010) أن حطب القطن يمكن معالجته لاهوائياً، وهو مصدر جيد للغاز الحيوي، بمعدل إنتاج يراوح بين 211 و303 $\mathbf{l_N\ kg^{-1}\ OTS}$. كما أن إنتاج الميثان تناسب عكسياً مع حجم الجزيئات، فتصغير حجم جزيئات حطب القطن إلى 0.5 مم، زاد في إنتاج الميثان بنسبة 46.2%، كما زاد من تركيز الميثان في الغاز الحيوي بمعدل 2%

مقارنة مع تخمير حطب القطن دون معالجة أولية. وإضافة إلى ذلك انخفض زمن التخمر المثالي في وحدات الهضم اللاهوائية إلى 21 يوماً بدلاً من 31 يوماً بدون معالجة أولية.

لقد هَدَف هذا البحث إلى تحري تأثير المعالجة الأولية الميكانيكية لفرشة الدواجن على إنتاجية الغاز الحيوي والميثان، وعلى زمن التخمر في ظروف الحرارة المعتدلة 37 مْ وفي وحدات تخمير لاهوائية مخبرية.

مواد البحث وطرائقه

العينات والبادئ: أُخذت العينات من أحدى المداجن النموذجية لتربية الفروج في محافظة السويداء (بلدة عريقة) في شباط 2012، ثم أجريت عليها معالجة أولية ميكانيكية تضمنت عملية طحن باستعمال مطحنة مخبرية كهربائية (Starmix) واستخدمت مناخل ذات فتحات 1مم و3مم و10مم للحصول على الأقطار المطلوبة للعينات في المعالجة الميكانيكية، ثم حُفظت في أكياس بلاستيكية أحكم إغلاقها ضمن براد في درجة حرارة 4 مْ حتى بدء التجارب.

وجُمع البادئ المستخدم وهو عبارة عن الراسب الناتج عن التخمير اللاهوائي لمخلفات الأبقار من إحدى المخمرات المنفذة في المحافظة من قبل المركز الوطني لبحوث الطاقة من النموذج الهندي المعدل في قرية رضيمة اللوا.

وأجريت التحاليل الكيميائية للعينات (فرشة الدواجن) والبادئ قبل بدء التجارب في مخابر مركز البحوث العلمية الزراعية بالسويداء ومخابر كلية الزراعة الثانية وشملت: المادة الجافة (TS)، المادة العضوية في المادة الجافة (OTS)، درجة الحموضة(pH)، نسبة الكربون إلى النيتروجين (C/N)، نسب العناصر التالية: (Ca%-K%- Zn- % مغ كغ - Cu مغ/ كغ – Fe مغ/ كغ).

اختبارات الهضم اللاهوائي: أُجريت تجارب تحري إنتاج الغاز الحيوي والميثان من عينات فرشة الدواجن غير المعالجة (الشاهد) والعينات المعالجة ميكانيكياً إلى أقطار مختلفة 1مم و3مم و10مم في وحدة تخمير لاهوائية تجريبية مصنعة محلياً في مخبر الطاقات المتجددة في كلية الزراعة الثانية بالسويداء، ضمن درجة حرارة 37 مْ لمدة 42 يوماً، إذ جرى تخمير 283غ (FM - مادة طازجة) من كل عينة بشكل منفرد مع 10000غ (FM) من البادئ وكانت نسبة المادة العضوية في المادة الجافة للعينات بالنسبة لمثيلتها في البادئ 1:2. وجرى تحريك العينات داخل الهاضم مدة عشر دقائق كل ثلاثين دقيقة وفقاً لـ VDI 4630 (2006) وأخذت قراءات حجم الغاز الحيوي المنطلق بشكل يومي. وأجريت اختبارات الهضم اللاهوائي لقياس الميثان الكامن في العينات بحسب VDI 4630 (2006) و DIN 51900 (2000).

وجرت عملية جمع الغاز الحيوي في الشروط النظامية وذلك لإمكانية مقارنة هذه النتائج لاحقاً. قيس حجم الغاز الحيوي الناتج من البادىء بشكل مستقل وطرحت كميته من

كمية الغاز الحيوي الناتج من تخمر العينات مع البادىء، للوقوف على الكمية الفعلية للغاز الناتج من العينات. وأُنجزت عملية تحري نوعية الغاز الحيوي (نوع الغازات الموجودة فيه ونسبها المئوية) مرة واحدة أسبوعياً، باستخدام جهاز تحليل الغازات MultiRAE Lite PGM-6208، وقيس حجم الغاز الحيوي في الشروط النظامية: درجة الحرارة 273 كلفن وضغط جوي 1013 ميلي بار، في لتر نظامي لكل كيلو غرام من المادة العضوية في المادة الصلبة **l_N kg^{-1} OTS** وفقاً لـ VDI 4630 (2006).

التحليل الإحصائي: أجريت التجارب وفق التصميم العشوائي البسيط لدراسة تأثير المعالجات الأولية الميكانيكية المختلفة (1مم، 3مم، 10مم) لفرشة الدواجن مقارنة بالشاهد (دون معالجة أولية ميكانيكية) على ثلاث مكررات. وحللت المعطيات إحصائياً باستخدام برنامج SPSS،15 version (2007)، وتطبيق تحليل التباين (ANOVA)، ثم قورنت المتوسطات بإجراء اختبار أقل فرق معنوي $LSD_{5\%}$.

النتائج والمناقشة

نتائج التحليل الكيميائي للعينات: يبين الجدول (1) نتائج تحليل عينات فرشة الدواجن والبادئ قبل وضعها في المخمرات التجريبية، بالإضافة لعينات من الخشب المستخدم في الفرشة ولعينات من زرق الدواجن فقط للوقوف على تركيب كل منها. جرت التحاليل وفقاً لإجراءات التحاليل القياسية (حسن وزملاؤه، 2003) في مخابر مركز البحوث العلمية الزراعية بالسويداء ومخابر كلية الزراعة الثانية.

الجدول (1) التحاليل الكيميائية التي أجريت على فرشة الدواجن والبادئ، بالإضافة لزرق الدواجن ونشارة الخشب قبل بدء التجارب.

نوع التحليل	البادئ	فرشة الدواجن	زرق الدواجن	نشارة الخشب
%TS	5.84	78.25	n	n
%W	94.16	21.75	n	n
% OTS / TS	66.22	86.38	n	n
% OTS / FM	3.82	67.60	n	n
pH	8.1	5.9	n	n
C/N	n	19.04	14.31	n
%C	n	29.32	28.33	28.66
% N	n	1.54	1.98	n
% P	n	0.82	1.48	n
% K	n	2.12	3.01	0.08
% Ca	n	10.50	12.30	0.71
Zn ملغ/كغ	n	138.51	160.12	20.33
Cu ملغ/كغ	n	26.74	30.30	5.67
Fe ملغ/كغ	n	955.23	1055.25	164.00

TS% المادة الجافة؛ W% الرطوبة النسبية؛ (OTS/TS)% المادة العضوية في المادة الجافة؛ (OTS/FM)% المادة العضوية في العينة الطازجة؛ pH درجة الحموضة؛ C/N نسبة الكربون إلى النيتروجين؛ C الكربون، N الآزوت، P الفوسفور، K البوتاسيوم؛ Ca الكالسيوم؛ Zn الزنك؛ Cu النحاس؛ Fe الحديد؛ n غير مقاسة.

تأثير المعالجة الأولية الميكانيكية على إنتاج الغاز الحيوي: أظهرت نتائج الدراسة (الجدول2) أن أعلى معدل لإنتاج الغاز الحيوي (469.73) $\mathbf{l_N\ kg^{-1}\ OTS}$ كان من العينات المعالجة ميكانيكياً بأقطار 1مم، وأقلها(244.98) $\mathbf{l_N\ kg^{-1}\ OTS}$ من العينات غير المعالجة ميكانيكياً. وهذا يدل على أن إنتاج الغاز الحيوي من عينات فرشة الدواجن المعالجة ميكانيكياً يزداد مع تناقص أقطار جزيئاتها.

الجدول(2) إنتاج الغاز الحيوي من الهضم اللاهوائي للعينات المختبرة.

أقطار جزيئات عينات فرشة الدواجن	N	ناتج الغاز الحيوي	
مم		$l_N\ kg^{-1}$ OTS	S. D
1	3	469.73(*)	7.47
3	3	404.76(*)	2.48
10	3	399.05(*)	3.32
غير معالجة ميكانيكياً (الشاهد)	3	244.98	10.60

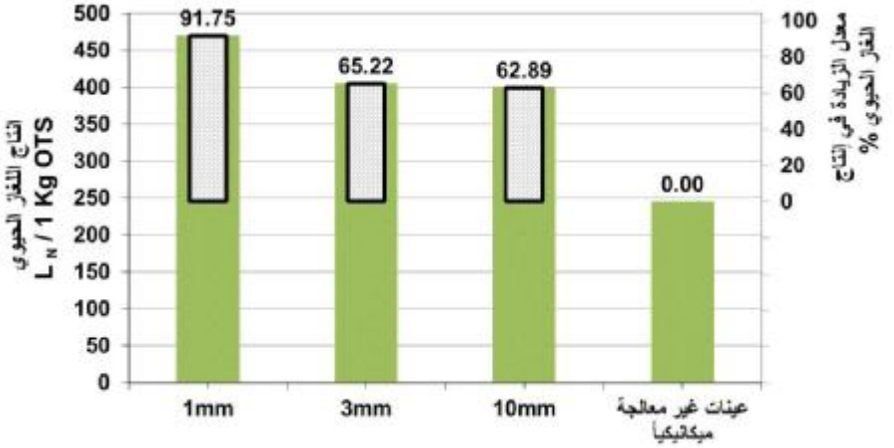
S.D= الانحراف المعياري؛ N= عدد المكررات؛ (*) تبين وجود فرق معنوي ($p < 0.05$) مقارنة بالشاهد.

أظهرت نتائج تحليل التباين وجود فروق معنوية بين متوسطات طرق المعالجة الأولية الميكانيكية والشاهد كما ظهر فرق معنوي ($P < 0.05$) بين متوسط طريقة المعالجة الأولية الميكانيكية (1مم) ومتوسطي طريقتي المعالجة الأولية الميكانيكية (3مم، 10مم). وتبين كذلك عدم وجود فرق معنوي بين متوسطي طريقتي المعالجة الأولية الميكانيكية (3مم، 10مم).

ولدى مقارنة نتائج الهضم اللاهوائي للعينات المطحونة إلى أقطار 1مم و3مم و10مم مع العينات غير المعالجة ميكانيكياً (الشاهد)، بلغ معدل الزيادة في إنتاج الغاز الحيوي 91.75% و65.22% و62.89% على التوالي (الشكل 2). ويمكن أن تعود هذه الزيادة إلى الدور الإيجابي الذي تلعبه التجزئة الميكانيكية للعينات في زيادة قدرة تحلل اللغنوسيللوز (Demirbas، 2008). وهذا يتوافق مع نتائج دراسات Bruni وزملائه (2010)، والعفيف (2010)، وGhosh وزملائه (2000)، التي أجريت على أنواع مختلفة من المواد العضوية والتي تؤكد أن التحلل البيولوجي وإنتاج الغاز الحيوي يزداد بازدياد التجزئة الميكانيكية للمادة العضوية.

تأثير المعالجة الأولية الميكانيكية على إنتاج الميثان: تبين النتائج (الجدول3) أن حجم الميثان الناتج عن الهضم اللاهوائي لعينات فرشة الدواجن المختبرة راوح بين 116.77 و229.59 $\mathbf{l_N\ kg^{-1}\ OTS}$. ولدى مقارنة حجم الميثان الناتج للعينات المطحونة إلى أقطار 1مم و3مم و10مم مع العينات غير المعالجة ميكانيكياً، بلغ معدل الزيادة 96.62% و74.35% و71.54% على التوالي. فقد أدت زيادة معدل التجزئة الميكانيكية للعينات إلى زيادة في إنتاج غاز الميثان (الشكل 3)، وهذا مطابق لما توصل إليه Hendriks وزملاؤه

(2009) والعفيف (2010)، وهو أن إنتاج الميثان من المواد اللغنوسيللوزية يتناسب طرداً مع درجة تجزئتها قبل التخمر.



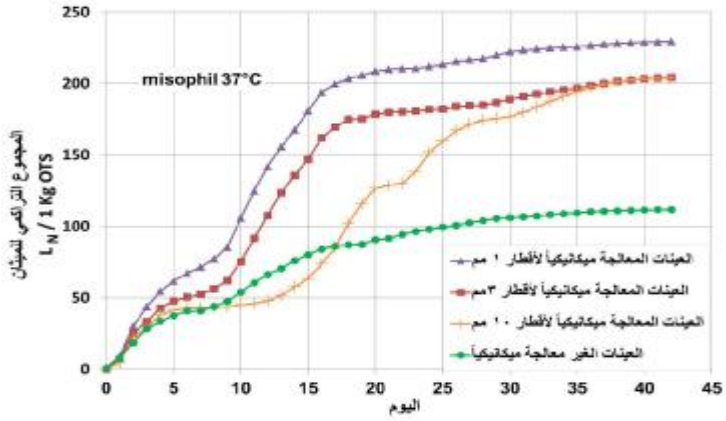
الشكل (2) إنتاج الغاز الحيوي من الهضم اللاهوائي للعينات المختبرة ومعدل الزيادة في إنتاجيته (%) بالمقارنة مع العينات غير المعالجة ميكانيكياً.

كما أظهرت نتائج تحليل التباين وجود فرق معنوي بين متوسطات طرائق المعالجة الأولية الميكانيكية والشاهد ($P < 0.05$)، إذ ظهرت فروق معنوية بين متوسطات المعالجات الأولية الميكانيكية (1مم، 3مم، 10مم) مقارنة مع العينات غير المعالجة (الشاهد)، وظهر فرق معنوي بين طريقة المعالجة الأولية الميكانيكية (1مم) وطريقتي المعالجة الأولية الميكانيكية (3 مم، 10مم).

الجدول(3) كمية الميثان الناتجة من الهضم اللاهوائي للعينات المختبرة

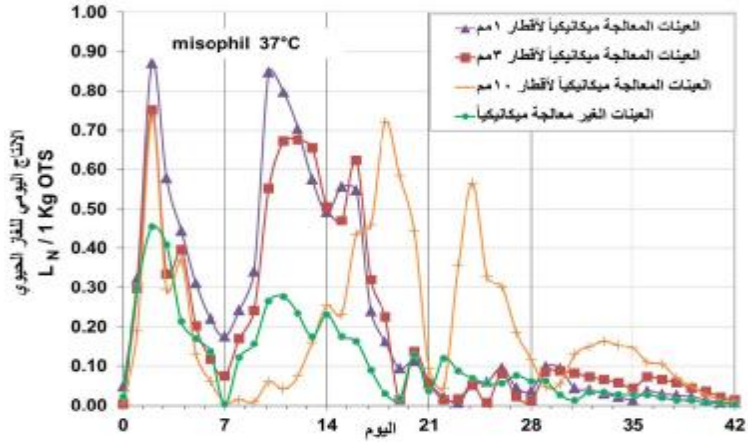
أقطار جزيئات عينات فرشة الدواجن	N	الميثان الناتج		
مم		l_N kg^{-1} OTS	S.D	[Vol. %]
1	3	229.60(*)	1.46	58.75
3	3	203.60(*)	2.01	57.50
10	3	200.30(*)	3.07	57.00
(غير معالجة ميكانيكياً الشاهد)	3	116.77	4.45	55.50

S.D= الانحراف المعياري؛ N= عدد المكررات؛ (*) تبين وجود فرق معنوي ($P < 0.05$).



الشكل (3) المجموع التراكمي للميثان خلال فترة الهضم اللاهوائي.

تأثير المعالجة الأولية الميكانيكية على زمن التخمر: يوضح الشكل (4) أنه خلال أول يومين من الهضم اللاهوائي ازداد معدل إنتاج الميثان لجميع العينات في المجال من (0.45 إلى 0.87) **l_N kg^{-1} OTS.h**. وبعد اليوم الثاني بدأ انخفاض معدل إنتاج الميثان لجميع العينات حتى نهاية اليوم السابع ليبدأ إنتاج الميثان بالتزايد حتى اليوم العاشر بالنسبة للمعالجة الميكانيكية 1مم، واليوم الثاني عشر للمعالجة الميكانيكية 3مم، واليوم الحادي عشر للعينة غير المعالجة، واليوم الثامن عشر للمعالجة الميكانيكية 10مم، ليبدأ بعدها بالانخفاض بشكل أساسي حتى نهاية اليوم العشرين، حيث وصل إنتاج الميثان إلى مرحلة استقرار. كما لوحظ تأخر دخول إنتاج الميثان بمرحلة الاستقرار في المعالجة الميكانيكية للعينات بأقطار 10مم مقارنة مع بقية المعالجات.



الشكل (4) ناتج الميثان في الساعة خلال فترة الهضم اللاهوائي.

إن ازدياد معدل إنتاج الميثان مع زيادة التجزئة الميكانيكية دّل على زيادة سرعة التحلل البيولوجي لفرشة الدواجن. وعند تحديد زمن التخمر المثالي لكل معالجة، وهو الزمن الذي نحصل خلاله على ما يقارب 80% من الميثان الكلي الناتج خلال زمن التخمر الكلي، وجد إن زمن التخمر المثالي لعينات فرشة الدواجن بدون معالجة ميكانيكية هو22 يوماً. أما بعد طحن العينات إلى 1مم فإن زمن التخمر المثالي حصل عليه خلال أول 16 يوماً. وفي العينات المطحونة إلى 3مم حصل عليه خلال أول 18 يوماً، في حين حصل عليه في العينات المطحونة إلى 10مم عليه خلال أول 26 يوماً من زمن التخمر الكلي. وبالتالي يكون زمن التخمر المثالي المقترح للمخمر الذي يتم خلاله أعلى معدل من التحلل البيولوجي لفرشة الدواجن عند المعالجة الميكانيكية 1مم هو من 16 يوماً إلى 18 يوماً عند المعالجة الميكانيكية 3مم، و26 يوماً عند المعالجة الميكانيكية 10مم، و22 يوماً بدون معالجة ميكانيكية أولية. وهذا يعني ان معدل التحلل البيولوجي في أثناء الهضم اللاهوائي لفرشة الدواجن يتأثر بدرجة تجزئتها. وأن زمن التخمر المثالي عند تجزئة العينات ميكانيكياً إلى أبعاد 3مم أقل بكثير من زمن التخمر المثالي للعينة المجزأة إلى أبعاد 10مم على الرغم من عدم وجود فروق معنوية في حجم الميثان المنتج بين طريقتي المعالجة. ويمكن أن نفسر ارتفاع زمن التخمر المثالي في العينات المجزأة لأقطار 10مم بكون نسبة نشارة الخشب إلى زرق الدواجن أعلى بقليل من غيرها، إذ إن هذه النسبة تتراوح بين 40 و60% وهي غير متساوية في كلّ العينات، ولذلك أخذت زمن تخمر أكبر خلال 4 أيام (من اليوم الثامن إلى اليوم الحادي عشر)، فقد سجلت زيادة طفيفة في إنتاج الميثان؛ لأن البكتريا تعمل على تحطيم سلاسل الهيمسيللوز لتحرير السيللوز، وبعد تحرر السيللوز بدأ إنتاج سريع للميثان (الشكلان 3 و4).

واستنتج بأنّ المعالجة الميكانيكية الأولية لفرشة الدواجن تؤدي إلى زيادة في إنتاج الغاز الحيوي وإنتاج الميثان، وأن زمن التخمر الذي يتم خلاله التحلل البيولوجي لفرشة الدواجن أولية يتناقص مع صغر حجم جزيئات الفرشة.

المراجع References

حسن، عيسى، وموسى عبود، ويحيى القيسي. 2003. مواد العلف، جامعة دمشق.

حميد، محمود. 2006. علم الأخشاب ومنتجات الغابة، جامعة دمشق.

علي، يونس. ونادر يونس، وزياد جحا، وعبد الرحمن الشياح، ورأفت العفيف. 2011. تقييم واقع واستثمار الكتلة الحيوية في الجمهورية العربية السورية. ندوة علمية حول طاقة الكتلة الحيوية في سورية، الواقع والآفاق المستقبلية. جامعة دمشق.

العفيف، رأفت. 2010. تأثير المعالجة الميكانيكية الأولية على إنتاج الغاز الحيوي من حطب القطن. مجلة جامعة البعث، المجلد 32 (قيد النشر).

المجموعة الإحصائية الزراعية. 2011. وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي.

Al Afif, R. and V. Kryvoruchko. 2009. Anaerobic digestion of by-products from sugar processing-Influence of co-fermentation with animal manure and energy crops for methane productivity, Damascus University journal for the Agricultural sciences, 25(1):191-205.

Bruni, E., A. P. Jensen and I. Angelidaki. 2010. Comparative study of mechanical, hydrothermal, chemical and enzymatic treatments of digested biofibers to improve biogas production, Bioresource Technology. 101:8713– 8717.

Demirbas, A. 2008. Products from lignocellulosic materials via degradation processes, Energy Sources Part A 30: 27–37.

DIN standard. 2000. 51900: Testing of Solid and Liquid Fuels-Determination of Gross Calorific Value by the Bomb Calorimeter and Calculation of Net Calorific Value. Part 1. Principles, Apparatus, Methods. Part 2. Method Using Isoperibol ot Static, Jacket Calorimeter. Part 3.Method Using Adiabatic Jacket. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin.

Fan, L. T., Y. Lee and D.H. Beardmore. 1980. Mechanism of the enzymatic hydrolysis of cellulose: Effects of major structural features of cellulose on enzymatic hydrolysis. Biotechnol Bioeng. 22: 177-199.

Ghosh, S., M. P. Henry, A. Sajjad, M.C. Mensinger and J.L. Arora. 2000. Pilot-scale gasification of municipal solid wastes by high-rate and two-phase anaerobic digestion (TPAD). Water Sci Technol. 41: 101-110.

Hendriks, A. and G. Zeeman. 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass, Bioresource Technology. 100(1): 10-18.

Menind, A. and A. Normak. 2010. Study on grinding biomass as pre-treatment for biogasification. Agronomy Research. 8: 155-164.

SPSS Inc. 2007. SPSS software, Release 15, SPSS Inc. Chicago (Ed.). Chicago, Illinois.

VDI 4630. 2006. Fermentation of organic materials. Characterisation of the substrates, sampling, collection of material data, fermentation tests. Verein Deutscher Ingenieure (Ed.), VDI-Handbuch Energietechnik.

Zhong, W., Z. Zhang, W. Qiao, P. Fu and M. Liu. 2011. Comparison of chemical and biological pretreatment of corn straw for biogas production by anaerobic digestion, Renewable Energy 36: 1875-1879.

Received	**2013/07/08**	**إيداع البحث**
Accepted for Publ.	**2014/02/26**	**قبول البحث للنشر**